



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**POROVNÁNÍ OPATŘENÍ NAVRHOVANÝCH V ÚSEKU
BRANTICE–KOSTELEČ NA ŘECE OPAVĚ**

COMPARISON OF PROPOSED MEASURES IN BRANTICE–KOSTELEČ SECTION OF RIVER
OPAVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Nikola Korálová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZBYNĚK ZACHOVAL, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Nikola Korálová
Název	Porovnání opatření navrhovaných v úseku Brantice–Kostelec na řece Opavě
Vedoucí práce	doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Digitální model terénu stávajícího stavu.

Koncepční a projektová dokumentace úprav navrhovaných v daném území.

Hydrologická data řeky Opavy v daném úseku.

Splaveninová studie pro řeku Opavu.

Související IG průzkumy.

Froehlich, D., 2002. User's Manual for FESWMS Flo2DH. Two-dimensional Depth-averaged Flow and Sediment Transport Model. Release 3. FHWA-RD03-053.

Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K., 1989. Úprava tokov. Bratislava: ALFA.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je porovnat proudění ovlivněné navrhovanými opatřeními v úseku Brantice–Kostelec na řece Opavě se současným stavem.

Porovnání bude provedeno na základě výsledků simulací proudění vypočítaných dvourozměrným numerickým modelem za stávajícího a navrhovaného stavu. Výsledkem práce budou mapy rozlivu, úrovně hladiny, hloubky a svislicové rychlosti umožňující porovnání obou stavů.

Požadovanými částmi práce jsou: popis stávajícího stavu úseku toku, popis navrhovaných opatření, 2D numerický model proudění za stávajícího a navrhovaného stavu, porovnání proudění za obou stavů.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá porovnáním proudění ovlivněného navrhovanými opatřeními na řece Opavě v úseku Brantice–Kostelec se stávajícím stavem. Pro posouzení proudění bylo využito výsledků z dvourozměrného numerického modelu ustáleného proudění, který byl vytvořen pro oba stavy v programu SMS – FESWMS. Práce obsahuje popis stávajícího stavu, navrhovaného stavu, teoretické pojednání o numerickém modelování, porovnání proudění a zhodnocení dosažených výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dvourozměrný numerický model, ochranná hráz, Opava, proudění, protipovodňová ochrana, revitalizace, rozliv, SMS – FESWMS, záplavové území

ABSTRACT

Diploma thesis deals with comparison of flow influenced by proposed measures with current status in Brantice-Kostelec section of the river Opava. The results of two-dimensional numerical model of steady uniform flow were used to assess the flow. The models were created using SMS – FESWMS for both of conditions. Thesis contains description of current status, design status, the theory of numerical modelling, comparison of the flow and evaluation of results.

KEYWORDS

floodplain, flood protection, flow, flooding, protective dike, revitalization, SMS – FESWMS, the Opava river, two-dimensional numerical model

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Nikola Korálová *Porovnání opatření navrhovaných v úseku Brantice–Kostelec na řece Opavě*.
Brno, 2017. 87 s., 20 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Nikola Korálová
autorka práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat mému vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, předané zkušenosti se softwarem SMS, trpělivost a vřelý optimistický přístup během celé doby zpracovávání. Také bych chtěla poděkovat firmě AQUATIS, a. s. za poskytnutá data se svolením Povodí Odry, s. p. Dále děkuji Ing. Michalovi Havlátovi za cenné rady při tvorbě digitálního modelu terénu. V neposlední řadě děkuji mým rodičům a přátelům za jejich podporu při studiu.

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce a metoda řešení	12
3	Zvolený přístup a nástroje pro řešení	13
3.1	Základní rovnice hydrodynamiky	13
3.1.1	Stavové rovnice	14
3.1.2	Rovnice spojitosti (kontinuity)	14
3.1.3	Zákon zachování hybnosti	15
3.2	2D numerické modelování	17
3.2.1	Proudění v mělkém proudu	17
3.3	Program SMS 12.2 – FESWMS	20
3.3.1	Geodetické podklady	21
3.3.2	Prostředí FESWMS	22
3.3.3	Pracovní moduly	22
3.3.4	Prezentace výsledků	29
4	Stávající stav zájmového úseku toku	30
4.1	Správní údaje	31
4.2	Správce toku	32
4.3	Popis toku a povodí	32
4.4	Osobní pochůzka terénu	33
4.5	Charakteristika zájmového území	34
4.6	Geologické a pedologické poměry	39
4.7	Hydrologické poměry	39
5	Navrhovaná opatření v úseku toku	40
5.1	Návrhový průtok	40
5.2	Ochranná hráz	40
5.3	Úpravy v korytě	41
5.4	Odlehčovací průleh	41
5.5	Vegetační doprovod	41
6	2D numerický model proudění	42
6.1	Stávající stav úseku toku	42
6.1.1	Podklady	42
6.1.2	Náhradní oblast	42

6.1.3	Digitální model terénu	42
6.1.4	Výpočetní síť.....	43
6.1.5	Materiálové vlastnosti.....	44
6.1.6	Počáteční a okrajové podmínky.....	45
6.1.7	Nastavení a průběh výpočtu	46
6.1.8	Kalibrace modelu	46
6.1.9	Výsledky.....	48
6.2	Návrhový stav úseku toku	49
6.2.1	Podklady.....	49
6.2.2	Náhradní oblast	49
6.2.3	Digitální model terénu	49
6.2.4	Výpočetní síť	50
6.2.5	Materiálové vlastnosti.....	52
6.2.6	Počáteční a okrajové podmínky.....	53
6.2.7	Nastavení a průběh výpočtu	53
6.2.8	Výsledky	54
7	Popis proudění a jeho porovnání.....	55
7.1	Stávající stav	56
7.2	Stávající stav s VD Nové Heřminovy.....	60
7.3	Návrhový stav opatření.....	63
7.4	Porovnání SS_VDNH – SS.....	67
7.5	Porovnání NS – SS.....	70
7.6	Porovnání NS – SS_VDNH	73
7.7	Porovnání rozlivů	76
7.8	Zhodnocení nejistot ve výsledcích	78
8	Závěr a zhodnocení.....	79
9	Seznamy.....	81
9.1	Seznam zdrojů	81
9.2	Seznam zkratk	82
9.3	Seznam veličin.....	83
9.4	Seznam obrázků.....	84
9.5	Seznam tabulek	86
9.6	Seznam příloh	87

1 Úvod

V důsledku větších a dlouhotrvajících, příp. příválových dešťů, vydatného tání sněhu a ledu, či kombinace výše uvedených jevů dochází na vodních tocích k povodním. Povodněmi se dle § 64 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů [22] rozumí: přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod. Vodní toky a jejich povodí je z výše uvedených důvodů nutné sledovat. Na základě dlouhodobého monitoringu a hydraulických výpočtů jsou v dnešní době stanovena záplavová území jednotlivých povodí. Dle § 66 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů [22] jsou záplavová území administrativně určená území, která mohou být při výskytu přirozené povodně zaplavena vodou. V záplavovém území se nachází i zájmový úsek Brantice – Kostelec na řece Opavě, který je součástí navrhovaného projektu Opatření na horní Opavě (OHO). Klíčovou stavební částí této akce je Celek 1 - Nádrž Nové Heřminovy. V minulosti povodí Opavy zasáhlo několik povodňových epizod, k jedné z posledních došlo v roce 1997. Aby k opakovaným situacím, škodám na majetku a zejména ztrátám na životech znovu nedocházelo, řeší se na daných územích návrh protipovodňových opatření (PPO), která mají za úkol minimalizovat rizika škod. Porovnáním navržených PPO v ř. km 73,51 – 77,89 (dle TPE) toku Opavy se současným stavem se zabývá tato práce.

Při návrhu PPO je nutné řešit záplavové území jako celek, tzn. koryto vodního toku i údolní nivu. Prostředkem na ochranu před povodněmi je úprava toku. V minulosti měla charakter spíše technický, kdy docházelo k výrazným zásahům do koryt. K běžným úpravám patřila změna trasy koryta, jejich napřimování, změna příčného i podélného profilu a tím vynucené používání umělých materiálů, např. betonu. V posledních letech se naopak upřednostňuje názor na zachování přirozeného stavu vodních toků. Jedná se o tzv. přírodě blízká PPO v rámci nichž se navrhuje revitalizační opatření zvyšující retenční schopnost území a biodiverzitu krajiny. Pro návrh úpravy koryta toku lze využít normy ČSN 75 2101 Ekologizace úprav vodních toků [3], TNV 75 2102 Úpravy potoků [17] a TNV 75 2103 Úpravy řek [18].

Revitalizace je proces nápravy nevhodně provedených úprav v minulosti směrem k původnímu, přírodě blízkému stavu [13]. Retenční a akumulační schopnost údolní nivy se dá podpořit např. obnovou říčních ramen, tvorbou přírodě blízkých paralelních koryt, budováním tůň a výsadbou vhodných autochtonních doprovodných dřevin. Úprava koryta spočívá v návrhu průtočného profilu, který usměrňuje vodní tok, zajišťuje neškodný odtok vody korytem a také rozliv vody při vyšších průtocích. Podpoření rozlivu vody z koryta je důležité především při povodňových stavech, kdy údolní niva přispívá k transformaci povodňové vlny. Pokud je koryto předimenzováno a údolní niva to dovolí, navrhuje se kyneta a široké bermy, kterými voda proudí při větších průtocích. Podélný sklon dna koryta se zpravidla plynule od pramene k ústí do vodního toku nižšího řádu zmenšuje (v závislosti na geologických poměrech a stupni geomorfologického vývoje podélného profilu vodního toku). Ke stabilizaci dna koryta a zmenšení jeho podélného sklonu se využívá různých technických opatření, jako např. stabilizačních prahů a stupňů. Ty bývají z přírodních (kámen, dřevo) nebo umělých (beton) materiálů. Současně s návrhem příčného a podélného profilu je nutné zabývat se splaveninovým režimem toku, který by měl být dlouhodobě vyrovnaný. Další možná řešení přispívající ke zlepšení stavu území jsou tvorba tůň a bypassů,

obnova mrtvých ramen, např. jako odlehčovací průlehy, usměrňování proudu výhony a vegetační doprovod. Vhodné je, pokud je to možné, umožnit korytu přirozený vývoj (meandrování, divočení atd.).

Pokud se v záplavovém území nachází zástavba či průmyslová a zemědělská výroba, je požadováno jejími vlastníky území chránit. Jako protipovodňová ochrana v extravilánu se obvykle navrhuje odsazené zemní hráze. Technické požadavky pro návrh ochranných hrází stanovuje § 11 vyhlášky č. 590/2002 Sb. o technických požadavcích pro vodní díla [20]. Řešení v intravilánu bývá kvůli prostorovým podmínkám omezeno na ochranné zídky, příp. mobilní hrazení.

Pro posouzení proudění vody v korytě toku lze využít numerických modelů. Ty se v dnešní době používají ke zhotovení aktuálních map rozlivů, hloubek a rychlostí vody, které jsou poté podkladem např. pro rizikovou analýzu. V případech převažujícího dvourozměrného (2D) proudění vody je vhodné k řešení použít 2D numerický model, který umožňuje provedení výpočtů pro širokou škálu kulminačních průtoků a zohledňuje složitost morfologie terénu a navrhovaných PPO. Proudění vody popisuje úrovní hladiny, svislicovými rychlostmi a jejich vektory, z nichž lze vypočítat celou řadu dalších veličin charakterizujících proudění (hloubka, Froudovo číslo, smykové napětí atd.). Výhodou některých typů modelů je snadné přizpůsobení výpočetní sítě i velmi složitým prostorovým podmínkám. Síť je možno zahušťovat změnou velikosti a tvaru jednotlivých prvků. Oproti jednorozměrnému (1D) modelu, který poskytuje údaje o průřezových rychlostech a konstantní úrovni hladiny vody v jednotlivých výpočtových příčných profilech, 2D model poskytuje informace o plošném rozdělení rychlostí a hloubek v záplavovém území. Nevýhodou těchto modelů je časová náročnost, menší stabilita výpočtu a vyšší požadavky na softwarové a hardwarové vybavení než u 1D modelů.

2 Cíl práce a metoda řešení

Cílem diplomové práce je porovnat proudění ovlivněné navrhovanými opatřeními v úseku Brantice–Kostelec na řece Opavě (návrhový stav) se současným stavem. Dominantou navrhovaných opatření je pravobřežní ochranná hráz, revitalizační úpravy a technické prvky v korytě toku.

Zvolenou metodou řešení je vyhodnocení změn ustálených proudění vypočítaných 2D numerickým modelem za vybraných kulminačních průtoků. Ustálené proudění je zvoleno z důvodu nezávislosti hledaných veličin na čase, takže jejich změny podstatně neovlivňují výsledky řešení. Takový model proudění ovšem nezohledňuje transformaci povodňové vlny inundací. 2D model je zvolen z důvodu převládajícího 2D proudění v daném úseku koryta toku a jeho inundačním území. Numerický model je zvolen z důvodu cenové dostupnosti softwaru. Kulminační průtoky Q_{100} a Q_{100n} byly zvoleny z důvodu ověření funkčnosti navrhovaných opatření a následnému porovnání obou stavů.

Postup řešení:

- definice cílů,
- podkladová data,
- seznámení se softwarovým prostředkem,
- vytvoření modelů proudění,
- simulace vybraných stavů,
- kalibrace modelu,
- vyhodnocení (mapy rozlivů, úrovní hladin, hloubek vody a svislicových rychlostí),
- porovnání výsledků (rozdílové mapy).

3 Zvolený přístup a nástroje pro řešení

Většina hydrotechnických problémů je natolik složitá, že úlohy, jež vedou na soustavu parciálních diferenciálních rovnic, není možné řešit analyticky. Vhodnou cestou je řešení přibližné (v konečném počtu bodů prostoru a času) pomocí numerických nebo fyzikálních modelů. Termín „model“ lze definovat jako zjednodušené zobrazení nějakého reálného nebo abstraktního světa [14]. Matematický model je abstraktní model používající matematický zápis k popisu chování systému.

Doporučené kroky pro sestavení matematického modelu [9]:

1. stanovení cílů a specifikace požadované přesnosti modelu;
2. podrobná analýza problému a matematická formulace problému pomocí základních zákonů mechaniky a stavových rovnic;
3. zjednodušující předpoklady – podle účelu modelu (např. předpoklad izotermie, nestlačitelnosti kapaliny, rovinnosti proudění apod.);
4. výběr a aplikace metody řešení – ve většině případů se jedná o numerické metody (metoda diferenční, variační, spektrální aj.);
5. algoritmizace úlohy a sestavení výpočtového programu;
6. numerické testy – ověření správnosti použitého algoritmu a případné nalezení chyby ve výpočtovém programu;
7. kalibrace modelu – podstatou kalibrace je určení parametrů modelu na základě předchozího pozorování a měření na reálném objektu;
8. citlivostní analýza – posouzení vlivu vstupních veličin a parametrů modelu na výsledky řešení;
9. verifikace modelu – ověření správnosti modelu na jiných datech než kalibračních;
10. simulace vybraných stavů.

Matematické modelování se ve vodním hospodářství využívá k řešení [9]:

- proudění kapalin;
- transportu a difúzi látek a energie v proudící kapalině;
- pohybu rozhraní dvou různých kapalin;
- vlivu proudění kapalin na stavby.

3.1 Základní rovnice hydrodynamiky

Hydrodynamika je věda, zabývající se pohybem (prouděním) kapalin a vzájemným působením kapalin a tuhých těles [9]. V hydrodynamice se zavádí pojem „elementární objem kapaliny“, čímž se rozumí tak malý objem, na kterém lze s dostatečnou přesností aproximovat neznámé funkce konstantou.

K sestavení základních rovnic hydrodynamiky se používá všeobecně platných zákonů a vět klasické mechaniky:

- stavových rovnic;
- zákona zachování hmotnosti → rovnice spojitosti (kontinuity);
- zákona zachování energie;
- zákona zachování hybnosti → Navier-Stokesovy (pohybové) rovnice.

3.1.1 Stavové rovnice

Obecný tvar stavové rovnice pro kapaliny v rovnováze je [9]

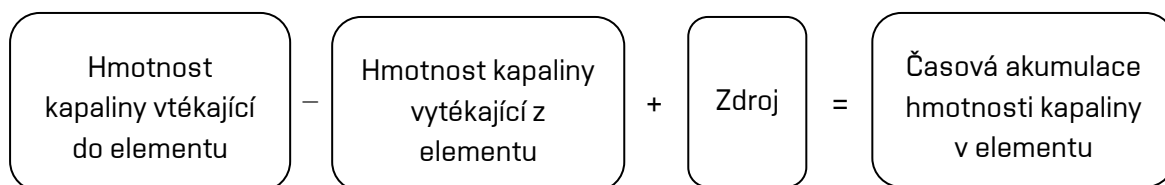
$$f(p, V, T) = 0, \quad (3.1)$$

kde p je tlak, V objem a T teplota. Rovnice platí pro kapalinu v klidu. U pohybující se kapaliny jsou napjatost, objem a teplota různé ve všech bodech, avšak pro tutéž částici tyto veličiny odpovídají stavové rovnici. Hustota kapalin ρ je funkcí tlaku p a teploty T . Ve většině praktických úloh se vliv tlaku a teploty zanedbává. Při konstantních hodnotách objemu V , tlaku p a teplotě T nabude stavová rovnice tvaru

$$\rho = \text{konst.} \quad (3.2)$$

3.1.2 Rovnice spojitosti (kontinuity)

Rovnice spojitosti proudění vychází ze zákona zachování hmotnosti [9]



Matematický zápis rozdílu hmotnosti kapaliny do elementu vtékající a vytékající ve směru osy x trojrozměrného (3D) ortogonálního souřadného systému, se souřadnicemi x, y, z , za časový interval dt je

$$\rho v_x dydzdt - \left(\rho v_x + \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} dx \right) dydzdt = - \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} dx dydzdt, \quad (3.3)$$

kde v_x je složka vektoru rychlosti ve směru osy x a $\rho(x, y, z, t) = f(p, T)$ hustota kapaliny. Obdobně lze vyjádřit rozdíl hmotnosti za časový interval dt pro osy y a z

$$- \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} dx dydzdt \quad \text{a} \quad - \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} dx dydzdt.$$

Časová změna hmotnosti kapaliny obsažená v elementu se dá vyjádřit výrazem

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dx dydzdt.$$

Diferenciální rovnice popisující rovnici spojitosti pro stlačitelnou kapalinu bez zdroje po dosazení výše uvedených složek a po úpravě je

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0. \quad (3.4)$$

Rovnice spojitosti pro nestlačitelnou kapalinu bez zdroje se získá dosazením výše uvedených členů a aplikací rovnice (3.2)

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (3.5)$$

3.1.3 Zákon zachování hybnosti

Navier-Stokesovy rovnice vychází z druhého Newtonova pohybového zákona, kdy platí

$$\mathbf{F}_i - \frac{D}{Dt}(m\mathbf{v}_i) = 0, \quad (3.6)$$

kde \mathbf{F} je vektor síly, m hmotnost tělesa (v Newtonské mechanice $m = \text{konst.}$), \mathbf{v} vektor rychlosti a t čas [9]. Za vektor síly \mathbf{F} lze považovat součet všech působících sil na element, jde o síly objemové (gravitační, Coriolisovy) a povrchové (tlakové, smykové). Dosazením těchto sil do rovnice (3.6) lze odvodit rovnice hybnosti pro pohybující se nestlačitelnou kapalinu

$$\begin{aligned} \rho f_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} &= \rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right), \\ \rho f_y + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} &= \rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right), \\ \rho f_z + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} &= \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right), \end{aligned} \quad (3.7)$$

kde f_i jsou složky vektoru objemového zatížení vztaženého na jednotku hmotnosti a σ_{ij} symetrický tenzor napětí. Pohybové rovnice (3.7) je možné zapsat ve zkráceném tvaru pomocí Einsteinovy sumační konvence

$$\rho f_i + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = \rho \frac{\partial v_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial v_j v_i}{\partial x_j}. \quad (3.8)$$

Konstitutivní vztahy

Konstitutivní vztahy vyjadřují závislost mezi tenzorem napětí σ_{ij} a tenzorem rychlosti přetvoření ε_{ij} [9]. Pro newtonskou kapalinu vyjadřují napětí σ_{ij} v kapalině lineární funkci rychlosti přetvoření a tlaku p

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \lambda(\rho, T)\varepsilon_v\delta_{ij} + 2\mu(\rho, T)\varepsilon_{ij}, \quad (3.9)$$

kde $p(x, y, z, t)$ je tlak, δ_{ij} Kroneckerovo delta, ε_v rychlost objemového přetvoření, $\lambda(\rho, T)$ součinitel rychlosti objemového přetvoření, $\mu(\rho, T)$ součinitel dynamické viskozity a T teplota.

Navier-Stokesovy rovnice

Navier-Stokesovy (N-S) rovnice (odvozeny C. L. M. H. Navierem r. 1821 a G. G. Stokesem r. 1845) slouží k nejobecnějšímu popisu prostorového pohybu newtonské kapaliny [9]. Získají se dosazením rovnice (3.9) do (3.8) a vyjadřují vztah mezi silami objemovými, tlakovými, odporovými a setrvačnými.

Za předpokladu nestlačitelnosti kapaliny (3.2) je objemové přetvoření rovno nule ($\varepsilon_v = 0$). N-S rovnice pro nestlačitelnou kapalinu s konstantní viskozitou ($\mu = \text{konst.}$) pak nabývají s použitím rovnice spojitosti tvaru

$$\begin{aligned}
 f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) &= \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z}, \\
 f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) &= \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z}, \\
 f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) &= \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z}.
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Jednotlivé členy v rovnici (3.10) představují:

$$\begin{aligned}
 f_i &\quad \text{- zrychlení vyvolané objemovými silami,} \\
 -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} &\quad \text{- zrychlení vyvolané tlakovou silou,} \\
 \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) &\quad \text{- zrychlení vyvolané tvarovým přetvořením kapaliny,} \\
 \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} &\quad \text{- zrychlení vyvolané setrvačnými silami.}
 \end{aligned}$$

Další možnost zápisu N-S rovnice je s použitím tenzoru viskózních napětí τ_{ij}^f [9], tedy

$$f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}^f}{\partial x_j} = \frac{\partial v_i}{\partial t} + \frac{\partial (v_i v_j)}{\partial x_j}, \tag{3.11}$$

$$\text{kde } \tau_{ij}^f = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right). \tag{3.12}$$

3.2 2D numerické modelování

V některých případech s ohledem na předpokládaný charakter a směr proudění je možné zanedbat změny hledaných veličin v některém ze směrů a snížit tak rozměrovost úloh [14]. 2D schematizace se používají například při řešení proudění vody v zemních kolektorech, záplavových územích nebo v mělkých nádržích. 2D model proudění v horizontální rovině používá rovnici spojitosti a pohybové rovnice ve dvou směrech (x, y).

Výchozími předpoklady modelování 2D proudění v přibližně horizontální rovině jsou:

- svislé složky rychlosti jsou zanedbatelné v porovnání s podélnými nebo příčnými;
- použití svislicové rychlosti.

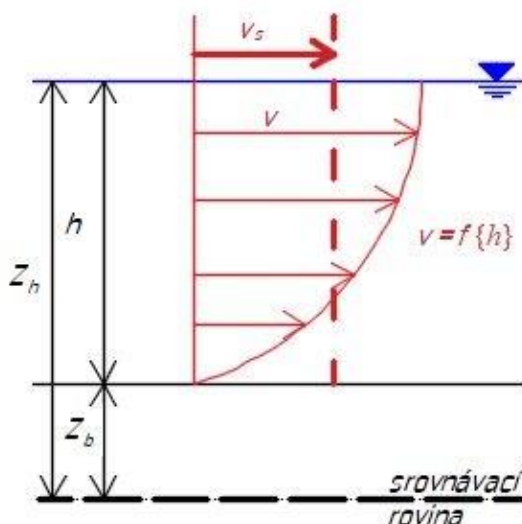
Metodami řešení může být metoda konečných diferencí, metoda konečných objemů a metoda konečných prvků (MKP) [14]. Výpočetní síť MKP je tvořena prvky (elementy). Prvky mohou být liniové (znázorněny úsečkou) (1D), plošné (2D) a objemové (3D). Plošné prvky mohou mít tvar trojúhelníkový, čtyřúhelníkový atd. Když jsou prvky v některém směru příliš protažené, případně když má mnoho prvků společný jeden uzel, pak může být výpočet v daném místě nepřesný.

Výhoda MKP je v tvarové přizpůsobivosti prvků na náhradní oblasti. Je tak možné detailní modelování objektů, ochranných hrází, jezů, mostů aj. Nevýhodou této metody je náročnost na hardwarové vybavení počítačů a dlouhá doba výpočtu.

3.2.1 Proudění v mělkém proudu

2D turbulentního proudění vody v mělkém proudu s volnou hladinou lze využít např. při řešení proudění vody v tocích, inundačních územích, mělkých nádržích a také tam, kde je třeba znát plošné rozložení rychlostí a hloubek na náhradní oblasti [9]. Modelování proudění v mělkém proudu je oproti trojrozměrnému modelu méně náročné na množství vstupních dat, na vlastní výpočet i dobu zpracování.

Při řešení se uvažuje, že bodové rychlosti jsou po hloubce průměrované do výsledné svislicové rychlosti v_s (Obr. 3.1, kde h je hloubka vody, v je bodová rychlost, Z_h je úroveň hladiny vody a Z_b je úroveň dna).



Obr. 3.1 Rozložení bodových rychlostí po hloubce vody

Neznámé veličiny jsou:

- složky vektoru svislicové rychlosti $v_{sx}(x, y, t)$ a $v_{sy}(x, y, t)$;
- hloubka vody $h(x, y, t)$;
- turbulentní viskozita $\mu_t(x, y, t)$.

K řešení neznámých veličin lze využít rovnici spojitosti (3.16), dvě pohybové rovnice (3.19 a 3.20) a rovnici pro vyjádření turbulentní viskozity (např. Smagorinského turbulentním modelem) [9]. Odvození rovnic je níže provedeno pomocí integrace po výšce (přes hloubku).

Předpoklady při odvození (dle Obr. 3.1):

- kapalina proudí o volné hladině, jejíž poloha je vyjádřena neznámou funkcí $Z_h(x, y, t)$;
- kapalina proudí po pevném dně, jehož poloha je vyjádřena známou funkcí $Z_b(x, y, t)$;
- hloubka vody $h(x, y, t)$ je definována jako rozdíl úrovně hladiny a úrovně dna
 $h(x, y, t) = Z_h(x, y, t) - Z_b(x, y, t)$;
- tlak p na volné hladině je roven tlaku atmosférickému p_a ;
- na hladině vznikají vlivem větru smyková napětí τ_{hx} a τ_{hy} ;
- na dně vznikají vlivem drsnosti povrchu dna smyková napětí τ_{bx} a τ_{by} ;
- na kapalinu působí Coriolisovy síly.

Složky svislicové rychlosti v_s jsou

$$v_{sx} = \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{Z_h} v_x dz, \quad (3.14)$$

$$v_{sy} = \frac{1}{h} \int_{Z_b}^{Z_h} v_y dz. \quad (3.15)$$

Rovnici spojitosti (3.5) lze po integraci po výšce zapsat ve tvaru [9]

$$\frac{\partial Z_h}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{sx})}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{sy})}{\partial y} = 0. \quad (3.16)$$

Vynásobením svislicových rychlostí hloubkou vody h se získá specifický průtok v příslušném směru x a y

$$q_x = v_{sx} h, \quad (3.17)$$

$$q_y = v_{sy} h. \quad (3.18)$$

Pohybové rovnice mají tvar [9]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - f q_x + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{bx} - \tau_{xx} - \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] = 0, \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + gh \frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{h}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - f q_y + \frac{1}{\rho} \left[\tau_{by} - \tau_{yy} - \frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] = 0, \quad (3.20)$$

kde f je Coriolisův parametr, τ_{xx} τ_{xy} τ_{yx} a τ_{yy} jsou tečná napětí v kapalině způsobená 2D turbulencí a viskozitou.

Coriolisův parametr lze určit dle rovnice

$$f = 2\Omega \sin \Phi, \quad (3.21)$$

kde Ω je úhlová rychlost otáčení země ($7,27 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$) a Φ je zeměpisná šířka (kladné hodnoty pro severní polokouli, záporné hodnoty pro jižní polokouli). Při řešení proudění v mělkém proudu je vliv Coriolisova parametru tak malý, že je možné ho zanedbat.

Tečné napětí na dně koryta je vyjádřeno

$$\tau_{bx} = \rho c_f i_b \frac{q_x (q_x^2 + q_y^2)^{1/2}}{h^2}, \quad (3.22)$$

$$\tau_{by} = \rho c_f i_b \frac{q_y (q_x^2 + q_y^2)^{1/2}}{h^2}, \quad (3.23)$$

kde i_b sklon dna a c_f je bezrozměrný součinitel tření na dně. Pro bezrozměrný součinitel tření na dně platí

$$c_f = \frac{g}{C^2}, \quad (3.24)$$

kde g je tíhové zrychlení, C je Chézyho rychlostní součinitel daný např. vztahem

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}, \quad (3.25)$$

kde n je součinitel drsnosti (podle Manninga) a R hydraulický poloměr.

Tečná napětí v kapalině (způsobená turbulencí a molekulární viskozitou) lze určit ze vztahů [9]

$$\tau_{xx} = \rho \mu_t \left(\frac{\partial v_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial v_{sx}}{\partial x} \right), \quad (3.26)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \rho \mu_t \left(\frac{\partial v_{sx}}{\partial y} + \frac{\partial v_{sy}}{\partial x} \right), \quad (3.27)$$

$$\tau_{yy} = \rho \mu_t \left(\frac{\partial v_{sy}}{\partial y} + \frac{\partial v_{sy}}{\partial y} \right). \quad (3.28)$$

Ve vztazích (3.26 až 3.28) je μ_t turbulentní viskozita. Pro určení turbulentní viskozity existuje řada modelů. Jednou z možností je stanovení turbulentní viskozity z lokální derivace rychlostního pole a velikosti sítě dle Smagorinského podle vztahu

$$\mu_t = \alpha \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial v_{sx}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_{sy}}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{sx}}{\partial y} + \frac{\partial v_{sy}}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (3.29)$$

kde α je bezrozměrný koeficient ($0,01 \leq \alpha \leq 0,5$), Δx a Δy jsou rozměry buňky výpočtové sítě.

Softwarové prostředky řešící výše pospané 2D proudění jsou např. SMS – FESWMS, BASEMENT, MIKE 21, SMS – RMA2, TELEMAC – 2D a další.

Výpočty byly provedeny v softwaru SMS – FESWMS [1], který byl poskytnut Fakultou stavební Vysokého učení technického v Brně.

Program SMS – FESWMS používá k výpočtu turbulentní viskozity vztah [6]

$$\mu_t = \mu_{t0} + c_{\mu 1} u_0 Z_h + c_{\mu 2} |J| \left[\left(\frac{\partial v_{sx}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_{sy}}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{sx}}{\partial y} + \frac{\partial v_{sy}}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (3.31)$$

kde μ_{t0} je konstantní člen turbulentní viskozity (případně molekulární viskozita), $c_{\mu 1}$ a $c_{\mu 2}$ jsou bezrozměrné koeficienty, u_0 je třetí rychlost u dna a J je determinant Jacobiovy transformační matice souřadnic výpočtových prvků. Porovnáním vztahů pro turbulentní viskozitu vychází, že pro přírodní koryta se užívá hodnot koeficientů: $c_{\mu 1} = 0,6 \pm 0,3$, když $\nu_{t0} = 0$ a $c_{\mu 2} = 0$; a $c_{\mu 2} = 0,1$, když $\nu_{t0} = 0$ a $c_{\mu 1} = 0$.

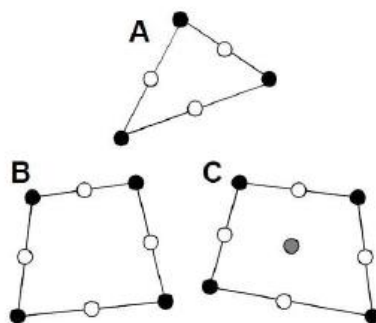
3.3 Program SMS 12.2 – FESWMS

Software SMS (Surface-water Modeling System) vyvíjený americkou společností Aquaveo [1] je v současnosti jeden z nejpoužívanějších programů při řešení 2D numerického modelování proudění s volnou hladinou. Obsahuje moduly pro vytvoření a úpravu výpočetní sítě (Map Module, Mesh Module, Grid Module, Scatter Module a další) a dále pak vlastní výpočetní moduly řešící 2D proudění (RMA2, FESWMS, TUFLOW).

Výpočtový modul FESWMS (Finite Element Surface Water Modeling System), který je založen na MKP umožňuje řešit:

- 2D ustálené proudění vody o volné hladině;
- 2D neustálené proudění vody o volné hladině;
- transport splavenin;
- 1D proudění jezy, mosty, propustky apod.

Program využívá trojúhelníkové a čtyřúhelníkové kvadratické prvky (Obr. 3.2). Trojúhelníkové jsou šestiúhlové. Čtyřúhelníkové prvky jsou osmiúhlové nebo devítiúhlové.



Obr. 3.2 Typy prvků FESWMS (A – šestiuzlový trojúhelníkový prvek, B – osmiuzlový čtyřúhelníkový prvek, C – devítiuzlový čtyřúhelníkový prvek) [6]

Program při řešení 2D proudění o volné hladině využívá upravené rovnice proudění v mělkém proudu, které jsou obsahem kapitoly 3.2.1.

3.3.1 Geodetické podklady

K přípravě výpočtového modelu jsou zapotřebí geodetické podklady, mezi které patří [11]:

- podrobné zaměření koryta (příčné profily, tachymetrické zaměření);
- podrobné zaměření terénu inundací (tachymetrické zaměření, fotogrammetrické zaměření, digitální vrstevnice mapových podkladů);
- zaměření objektů, příčných a podélných staveb (komunikace, železniční tratě apod.).

Doplňujícími poklady jsou:

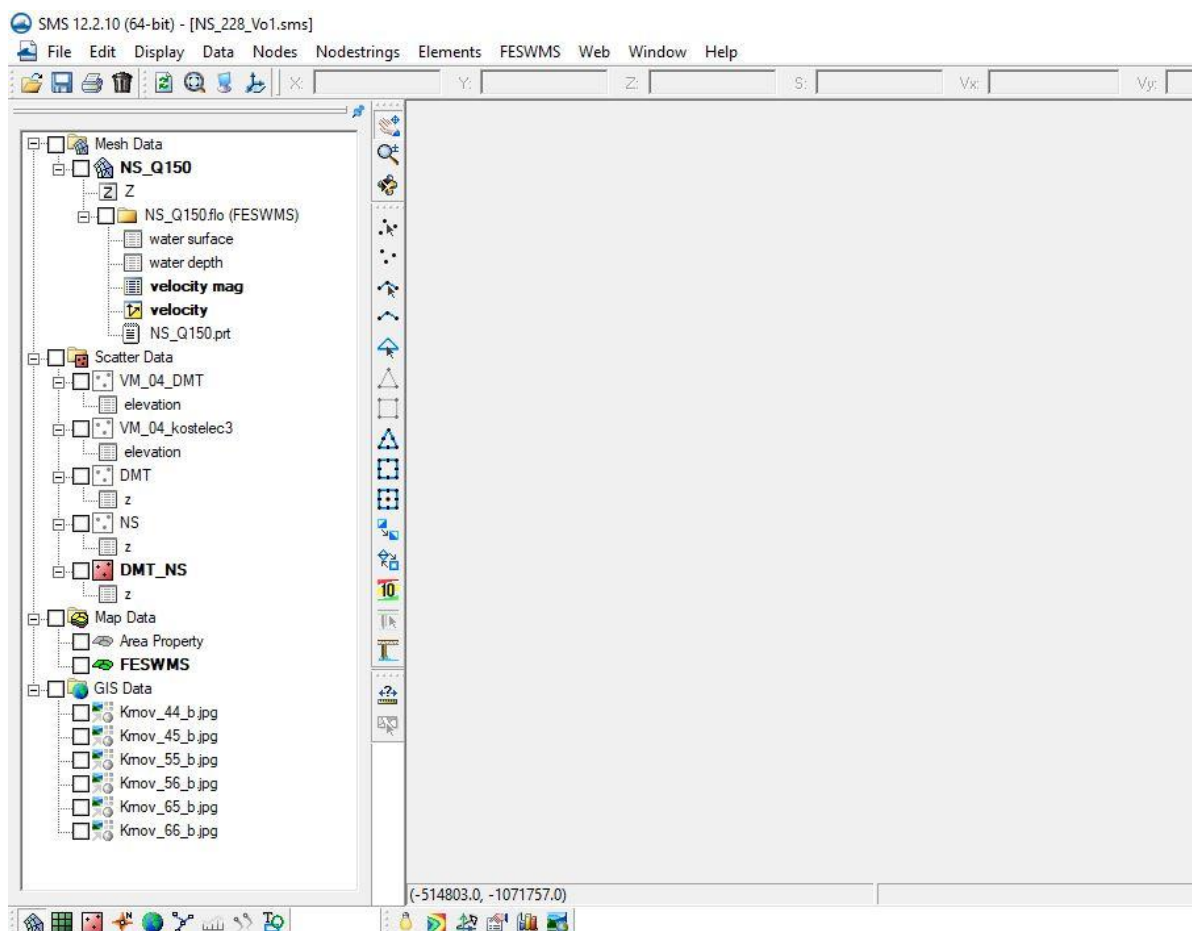
- ortofotomapy;
- digitální mapy.

Z dostupných podkladů vzniká digitální model terénu (DMT), který se obvykle skládá z DMT koryta toku a DMT záplavového území. Základem DMT koryta toku jsou 3D linie spojující břehové hrany, paty svahů a případně další hrany nacházející se v korytě nebo jeho bezprostřední blízkosti (stabilizační prahy, stupně, bermy apod.). DMT záplavového území obsahuje tvar terénu na obou březích koryta, 3D linie v místech zlomů sklonitosti terénu a linie popisující příčné a podélné objekty, jako např. hráze, násypy komunikací, vedlejší koryta, příkopy.

Kvalita digitálních modelů terénu bývá otázkou přesnosti zaměření. Tachymetrické zaměření je nejpresnější, avšak pracné, takto zaměřená koryta toků jsou v dnešní době relativně vzácná. U koryt vodních toků bývají obvykle zaměřeny jen příčné profily. Pro rozsáhlá modelovaná území je tato metoda finančně náročná, a to i přes technický pokrok těchto měřicích zařízení. Fotogrammetrické zaměření má omezenou přesnost z důvodu vegetačního pokryvu. Je však vhodné pro ploché údolní nivy s minimem překážek. Vytvoření DMT pouze na základě digitálních vrstevnic je nejméně přesné a používá se v krajních situacích.

3.3.2 Prostředí FESWMS

Základní uživatelské prostředí (okno) FESWMS (Obr. 3.3) obsahuje v pravé horní části panel nástrojů, který se mění dle jednotlivých pracovních modulů. Pod ním se nachází základní ikony příkazů pro vlastní projekt, ikony pro nastavení zobrazení pracovního okna a řádek se souřadnicemi a skalárními veličinami bodů. V levé části se nachází prohlížeč s dostupnými daty, z nichž vždy jedna data jsou aktivní. K nim přísluší panel nabídek umožňující editaci dat.



Obr. 3.3 Základní okno SMS-FESWMS

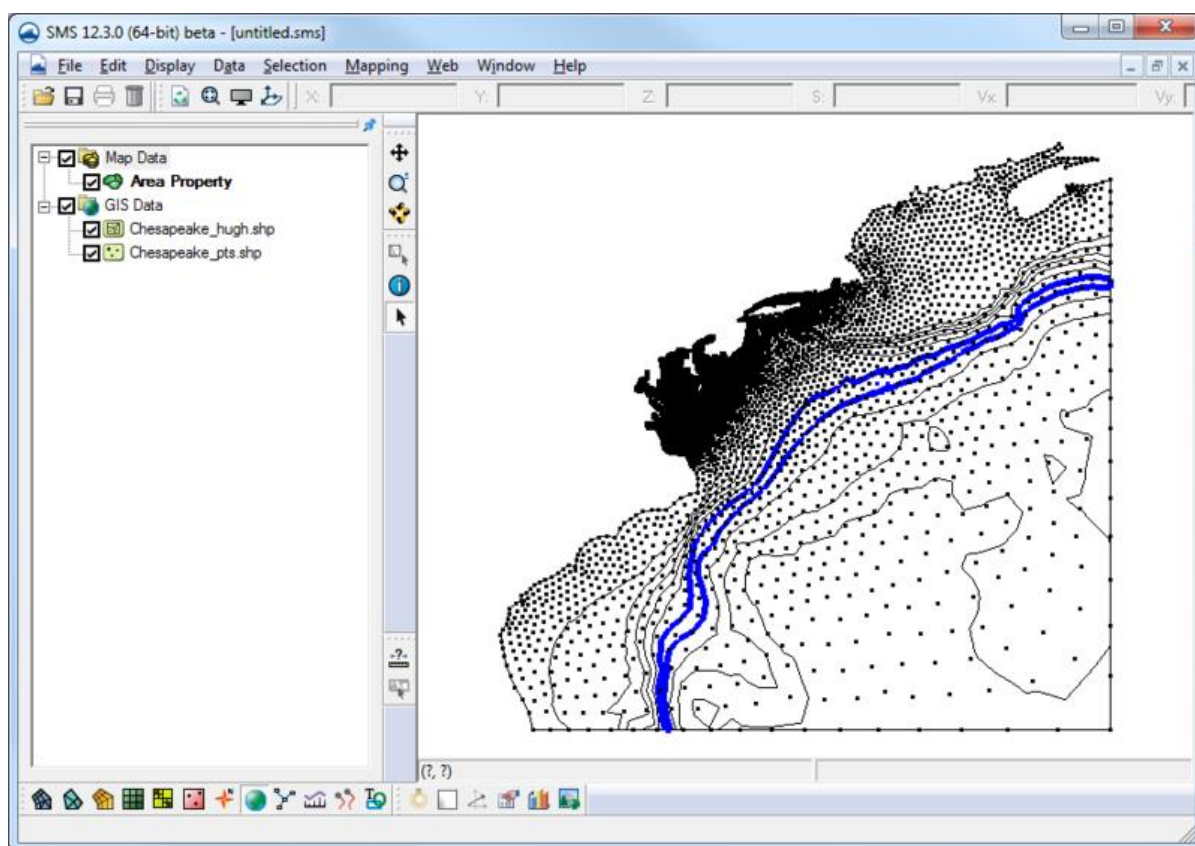
3.3.3 Pracovní moduly

3.3.3.1 GIS Data Module

GIS Data Module umožňuje načtení a prohlížení potřebných geoinformačních dat [21]. Podporovány jsou formáty ESRI (*.shp) a MapInfo (*.mif/mid). Vedle datového typu lze jako zdroj dat použít odkaz na WMS servery. Tato data mohou být převedena do Map data, kde se s nimi dá dále pracovat a zahrnout je tak do modelu pro vytvoření sítě nebo mřížky.

V libovolné kombinaci lze načíst [21]:

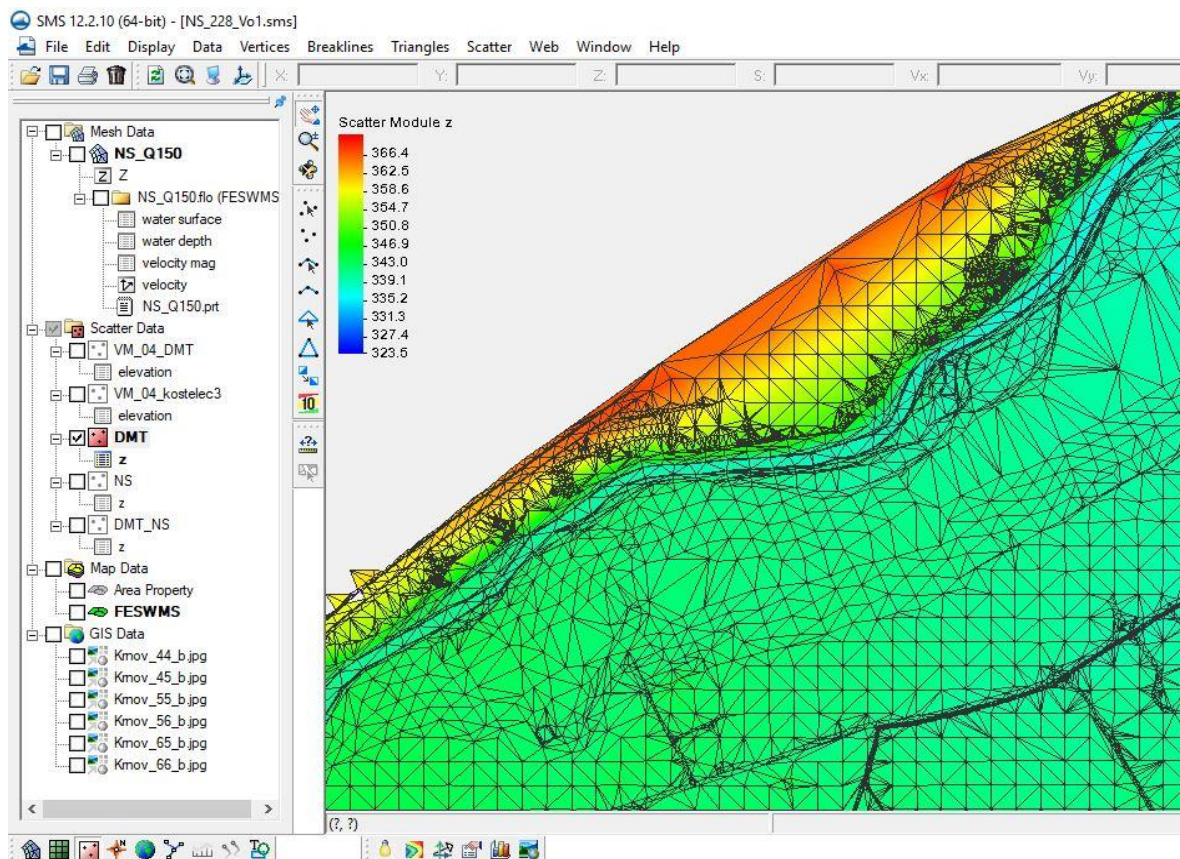
- obrazová data (barvy na mřížce);
- rastrová data (hodnoty na mřížce);
- vektorová data (vektory);
- GIS objekty (data podporovaná software ArcInfo, MapInfo a QGIS).



Obr. 3.4 Příklad GIS Data [21]

3.3.3.2 Scatter Module

Scatter Module slouží k vytvoření, úpravě a vizualizaci trojúhelníkových nepravidelných sítí [21]. Modul slouží k interpolaci hodnot prostorových dat ze skupin rozptýlených datových bodů nebo uspořádaných mříží do ostatních modulů (např. Mesh Module nebo Grid Module). Jde o data, která obsahují informaci o nadmořské výšce získané z DMT. Do programu FESWMS se importují např. jako grafické soubory TIN nebo textové soubory.



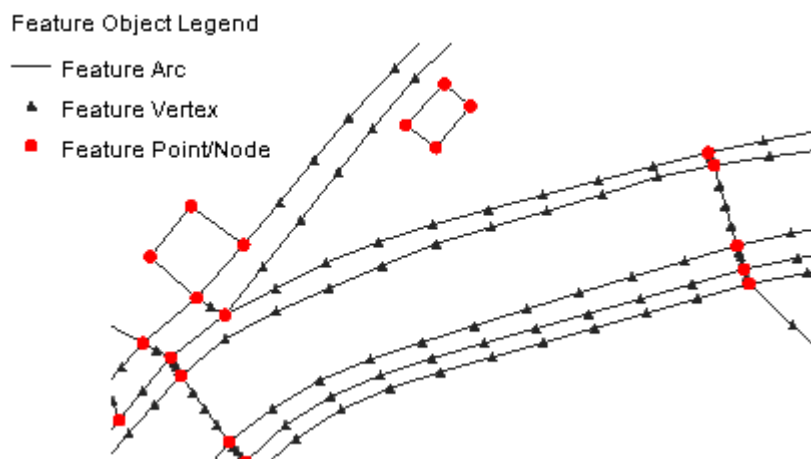
Obr. 3.5 Trojúhelníková síť ve Scatter Module

3.3.3.3 Map Module

Map Module slouží k přípravě výpočetní sítě pro modely založené na metodě konečných prvků s využitím mapových podkladů. V modulu se vytváří uzly a polygony (viz. Obr. 3.6) [11].

Při tvorbě polygonů je důležité vymezit oblasti se stejnými odpory povrchů, a to dle terénního průzkumu, příp. fotografií nebo ortofotomap. Dále je nutné respektovat terénní zlomy – linie hran svahů koryt, terénních zlomů, ochranných hrází, náspů komunikací, obecně lomové hrany z DMT. Rozsah modelu by měl být větší než zájmová oblast. Musí obsahovat vlastní modelovanou oblast, přítokový úsek sloužící k vytvoření správného rozdělení průtoku v přítokovém profilu zájmové oblasti a odtokový úsek sloužící k vytvoření správného rozdělení průtoku v odtokovém profilu zájmové oblasti.

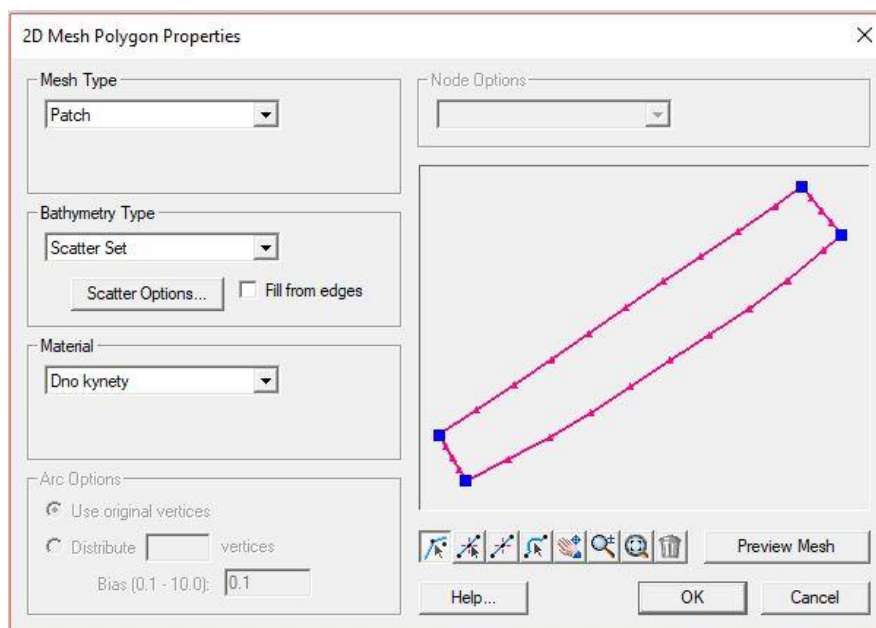
U každého vytvořeného polygonu se provede dělení hran na vrcholy, které jsou poté vrcholy výpočtových prvků v síti. U dělení je třeba dodržovat určitá doporučení, která zvyšují stabilitu výpočtu. Jsou to převážně požadavky na tvar prvků (vrcholové úhly, poměrné délky), velikost ploch sousedících prvků nebo změny úrovně povrchu.



Obr. 3.6 Příklad polygonů v Map Module

Hustota výpočetní sítě má přímý vliv na časovou náročnost výpočtu a je třeba ji volit i s ohledem na výkonnost počítače. Větší prvky lze volit v místech, kde se nepředpokládají velké změny proudění. Menší prvky se doporučují naopak v místech obtékání překážek nebo křížení objektů. Obecně platí, čím více je prvků v síti, tím je delší doba výpočtu. Na stabilitu výpočtu má největší vliv tvar prvků. Čtyřúhelníkové prvky jsou obecně stabilnější než trojúhelníkové.

Polygonům se přiřazují vlastnosti. V editačním okně (Obr. 3.7) se zadávají informace o způsobu vytvoření sítě (Mesh Type – strukturovaná, nestrukturovaná), batymetrie (Bathymetry Type – přiřazení nadmořské výšky jednotlivým uzlům) a informace o pokryvu území (Material – ukázka rozdělení materiálů na Obr. 3.8).



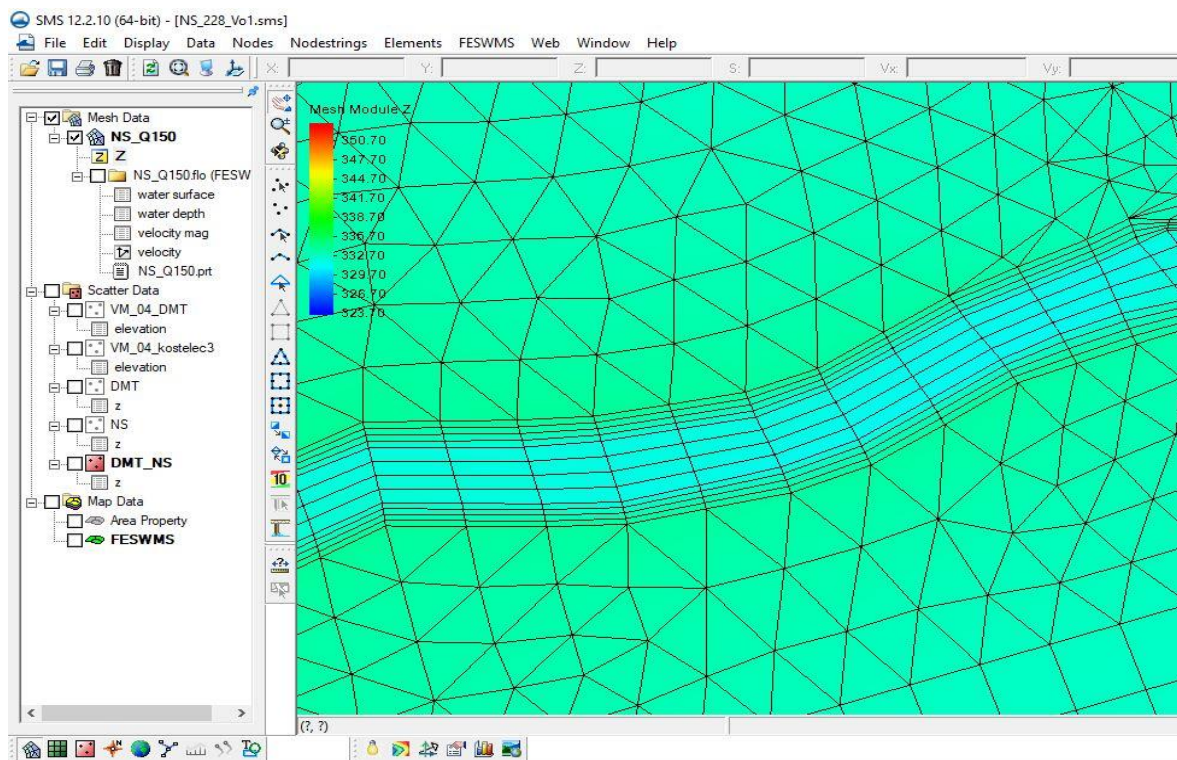
Obr. 3.7 Editační okno vlastností polygonů



Obr. 3.8 Rozdělení sítě dle materiálů v Map Module

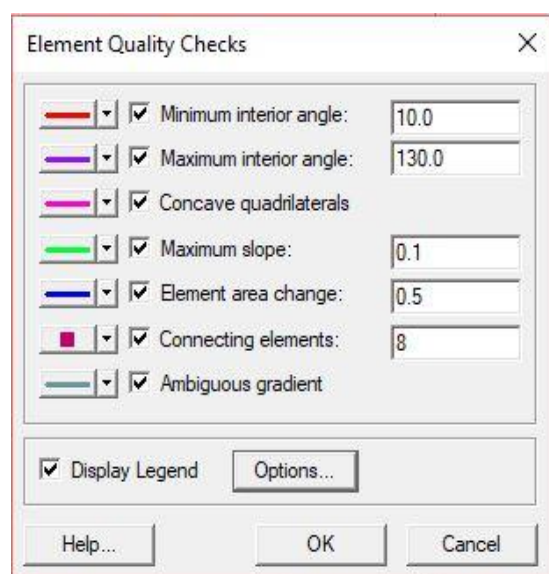
3.3.3.4 Mesh Module

Mesh Module slouží k detailní úpravě výpočetní sítě, zadání okrajových podmínek a zobrazení jednotlivých výsledků výpočtů (poloha hladiny, hloubka vody, rychlosti proudění vody). Síť se skládá z uzlů, které jsou seskupeny do prvků. Každý uzel je umístěn v prostoru (x , y) s přidruženou výškou (z). Hustota síťových uzlů má vliv na řešení modelu a je také důležitá z hlediska stability výpočtu. Síť se skládá z trojúhelníkových, čtyřúhelníkových nebo kombinace obou typů prvků v závislosti na nastavení v Map Module. Jednotlivé prvky je možno dodatečně měnit pomocí editačních nástrojů.



Obr. 3.9 Detail výpočtové sítě v Mesh Module

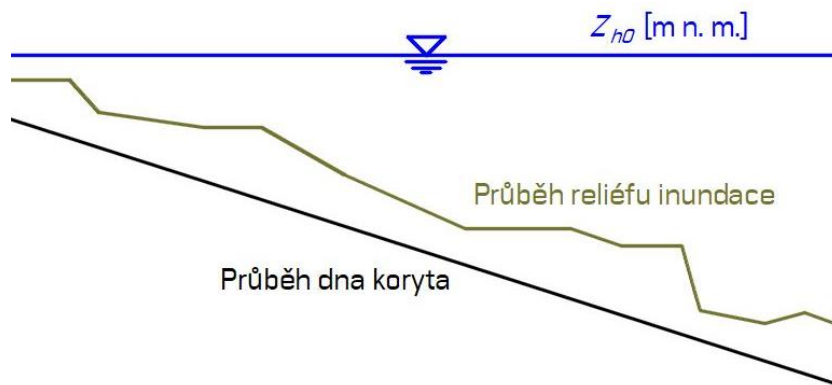
Před zahájením samotného výpočtu je nutné zkontrolovat kvalitu výpočetní sítě. V dialogovém okně *Element Quality Checks* (Kontrola kvality prvků, Obr. 3.10) jsou vlastnosti prvků, které je doporučeno sledovat. Lze jim přidat limitující hodnoty a graficky je zobrazit v síti. Největší nestabilitu výpočtu způsobují velmi ostré nebo naopak tupé vrcholové úhly. Úpravu sítě je nejvhodnější provést v Map Module a síť opětovně vygenerovat a znovu zkontrolovat. Po maximálním možném odstranění nekvalitních prvků je možné síť použít k výpočtům.



Obr. 3.10 Kontrola kvality prvků v Mesh Module

Počáteční podmínky

Počáteční podmínky (PP) definují počáteční polohu hladiny ve všech výpočetních bodech vytvořené sítě nezbytnou k zahájení iterací. Jako počáteční podmínka se pro model FESWMS volí taková úroveň vodorovné hladiny, která je pro všechny body v síti vyšší než jejich výška terénu, tzn., že celá náhradní oblast je zatopena vodou (Obr. 3.11). Pro další výpočty se jako počáteční podmínka použije vždy předchozí výpočet.



Obr. 3.11 Schéma podélného profilu modelu

Okrajové podmínky

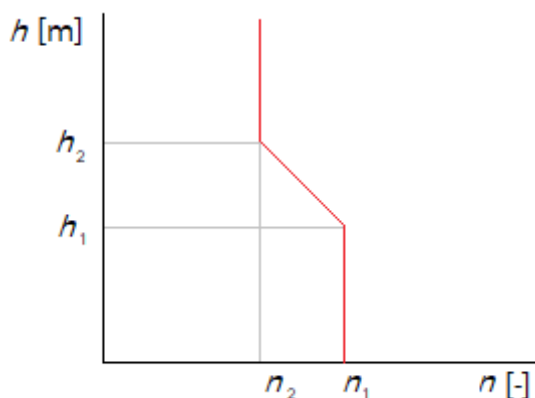
Okrajové podmínky (OP) jsou definovány na hranicích modelu, kde omezují úroveň vodní hladiny nebo průtok vody [11]. OP mohou být v čase neměnné (v případě ustáleného proudění) nebo proměnné (v případě neustáleného proudění). Druhy OP jsou:

- specifický průtok/úroveň hladiny;
- superkritický odtok;
- výpočet úrovně hladiny vody z měrné křivky;
- výpočet úrovně hladiny vody z definované časové závislosti.

V případě modelování říčního proudění je horní okrajová podmínka (HOP) určena vstupním přítokem do modelu (hydrologické podklady). Za dolní okrajovou podmínku (DOP) se zadává úroveň hladiny na odtoku z modelu (zpravidla výstup 1D modelu nerovnoměrného proudění). Z hlediska stability je vhodnější zadávat HOP i DOP po celé délce hranice.

Vlastnosti materiálů

Každému materiálu je třeba zadat parametry odporů, účinků větrů a vln a turbulence. Odpor se kvantifikují hodnotou součinitele drsnosti n , který je proměnný v závislosti na hloubce vody h (Obr. 3.12). Parametry turbulence se zadávají podle použitého turbulentního modelu.



Obr. 3.12 Závislost součinitele drsnosti n na hloubce vody h

Nastavení výpočtu

Posledním krokem před spuštěním výpočtu je jeho samotné nastavení. V dialogovém okně *Model Control* na kartě *General* je možné vybrat verzi modelu FESWMS (v nabídce jsou tři), typ řešené úlohy (hydrodynamika, transport sedimentů, kombinace obou) [6]. Dále je nutné zvolit typ proudění z hlediska stacionarity, definovat výpočet napětí na dně koryta nebo určit podmínky tření na hranicích modelu. Je možné volit vstupní soubory, které budou použity k výpočtu. Soubor *NET file* se používá na začátku výpočtu, k dalším výpočtům se používá soubor *INI file* (stejný soubor jako řešení FESWMS). Výstupem řešení může být sada skalárních nebo vektorových dat.

Na kartě *Timing* je třeba zadat relaxační faktor. Ten ovlivňuje rychlost a přesnost výpočtu. Počet iterací závisí na typu úlohy.

Mezi základní parametry výpočtu se řadí inicializační úroveň hladiny, která má být tak vysoko, aby všechny prvky modelu byly pod touto úrovní. Dále se zde zadává hustota kapaliny a nastavuje se hloubka vody, při jejímž překročení se prvek stává vysušeným.

Na kartě *Print* lze zvolit požadované výstupy řešení. Jestliže model zahrnuje i transport sedimentů nebo se při výpočtu uvažuje vliv větru, nastaví se parametry i pro tyto varianty.

3.3.4 Prezentace výsledků

Základním výstupem je textový soubor *.flo, který obsahuje úrovně hladiny a svislicové rychlosti ve směru osy x a y pro všechny body výpočtové sítě [6]. Hloubky vody lze snadno zpracovat s využitím souboru *.net, který obsahuje geometrii výpočtové sítě.

Výsledky se nejčastěji prezentují formou map znázorňujících úrovně hladiny vody, hloubku a svislicovou rychlost. Mapy je možné graficky upravovat v *Možnostech zobrazení*, kde je možné vybrat způsob vyobrazení (lineární spojnice, barevná výplň) a zároveň nastavit rozsah barevné škály, interval nebo průhlednost. Mapy lze exportovat ve formě obrázku *.jpeg, *.png, souboru typu *.shp do GIS nebo výkresu *.dwg.

Další variantou prezentace výsledků jsou mapy znázorňující vektorového pole svislicových rychlostí s volitelným nastavením vykreslení vektorů.

4 Stávající stav zájmového úseku toku

Jak už bylo uvedeno, zájmový úsek Brantice-Kostelec se nachází v oblasti, která patřila v roce 1997 k nejvíce postiženým povodněmi. Aby k podobné katastrofě v budoucnu nedošlo, bezprostředně po povodních se začalo pracovat na souboru opatření ke snížení povodňových rizik v povodí horní Opavy (OHO) [12]. Jedná se o komplexní projekt, obsahující technické řešení, přírodě blízké, organizační i kompenzační opatření a návrh pro územní rozvoj. Do dnešního dne si akce vyžádala desítky studií, projektových dokumentací, posudků a stanovisek. O výsledné koncepci opatření rozhodla vláda ČR v roce 2008. Dala tak i souhlas k výstavbě klíčové části souboru opatření, a to ochranné nádrže vodního díla Nové Heřminovy. V rámci celého projektu jsou řešena tato opatření:

Celek 1 - Nádrž Nové Heřminovy;

Celek 2 - Opatření na vodních tocích;

Celek 3 - Rozšíření monitorovací sítě;

Celek 4 - Soubor malých vodních nádrží;

Celek 5 - Úpravy v krajině;

Celek 6 - Náhradní výstavba;

Celek 7 - Dopravní obslužnost území a infrastruktura;

Celek 8 - Přeložka silnice I/45.

Veškerá opatření Celků 2 až 8 jsou navrhována s předpokladem retenční schopnosti a transformace povodňové vlny vodního díla Nové Heřminovy [12]. Při návrhu opatření na vodních tocích se dala přednost zajištění podmínek pro dlouhodobý přirozený vývoj koryta a zachování složek biotopu před radikálními technickými úpravami. Cílem tedy není odvést vodu korytem co nejrychleji do dolní části toku, ale naopak podpořit její rozliv v inundačním území s ohledem na ochranu přiléhající zástavby. V následující kapitole je popsán stávající stav úseku toku, na který navazuje popis navrhovaných PPO.

V rámci stavby OHO, stupeň dokumentace Dokumentace pro stavební povolení (DSP), je řešený úsek součástí Celku 2 – Opatření na vodních tocích a konkrétně se ho týkají stavební objekty [12]:

- 02.060 Opatření v úseku Brantice;
- 02.070 Opatření v úseku Brantice-Kostelec;
- 02.080 Opatření v úseku Kostelec.

4.1 Správní údaje

Správní údaje zájmového úseku jsou:

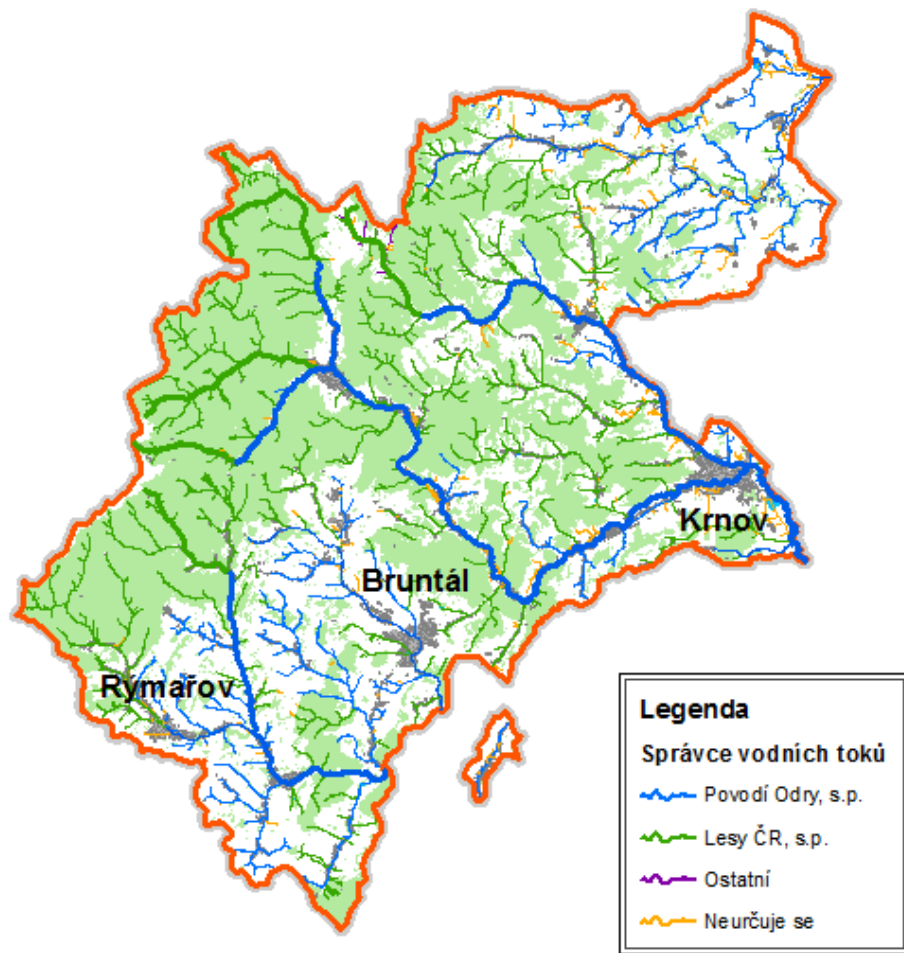
Tok:	Opava
ID toku:	10 100 014
Celková délka toku:	109,3 km (od soutoku ve Vrbně pod Pradědem)
Kraj:	Moravskoslezský kraj
Okres:	Bruntál
Katastrální území:	Brantice a Krnov – Horní Předměstí
Správce toku:	Povodí Odry, s. p. – Závod 1, Opava
Číslo hydrologického pořadí [7]:	2-02-01-037



Obr. 4.1 Mapa největších řek v ČR [15]

4.2 Správce toku

Správcem toku je Povodí Odry, s.p. se sídlem v Ostravě. Zájmový úsek spadá pod správu vodohospodářského provozu (VHP) Krnov, který je součástí Závodu Opava [12].



Obr. 4.2 Územní působnost VHP Krnov [12]

4.3 Popis toku a povodí

Řeka Opava je součástí dílčího povodí Horní Odry [12]. Vzniká soutokem Zlaté (ta vzniká soutokem Bílé a Střední Opavy na území města Vrbno pod Pradědem) a Černé Opavy ve Vrbně pod Pradědem v Hrubém Jeseníku. Černá Opava pramení při severozápadních svazích Orlíku, Střední Opava pramení na severovýchodních svazích Pradědu a Bílá Opava pramení na jihovýchodních svazích Pradědu. Průměrný podélný sklon je strmý, výše nad Krnovem překračuje 1 %, v oblasti Krnova dosahuje 0,4 %. Významným levostranným přítokem, se kterým tvoří státní hranici s Polskem v délce cca 25 km je řeka Opavice. Největším přítokem je řeka Moravice. Tvar povodí horní Opavy i Opavice je protáhlý. Největšími městy povodí horního toku Opavy jsou Opava a Krnov.

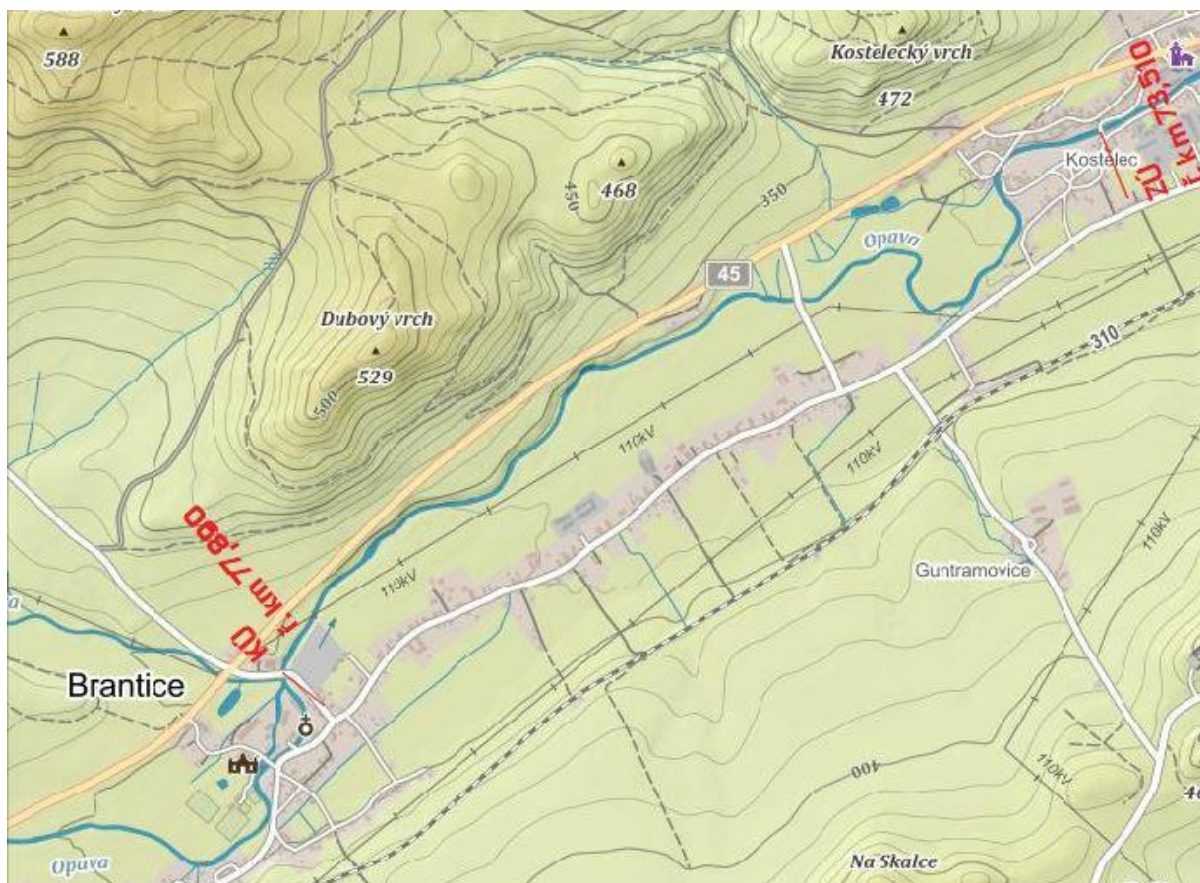
Povodí horní Opavy je z hlediska výskytu povodní značně exponované. Na části toku nacházejícím se v Hrubém Jeseníku jsou zaznamenávány jedny z nejvyšších srážkových úhrnů

v ČR (přes 1300 mm) a sklonitost terénu přispívá k jejich rychlejšímu odtoku do níže položených oblastí.

Následkem povodní z roku 1997 se koryto Opavy změnilo. Z Vrbna pod Pradědem teče řeka k jihovýchodu korytem, které dostalo přírodě blízký ráz. Vytvořily se četné meandry, šterkovité terasy a ostrůvky. Z Nových Heřminov teče řeka severovýchodně až k městu Krnov. Celý úsek od Vrbna až do Krnova má horský charakter, protéká hlubokým údolím, ve kterém se vytváří četné peřeje.

4.4 Osobní pochůzka terénu

Osobní pochůzka terénu proběhla dne 14.11.2017 podél pravého břehu. Výhodou byla větší dostupnost k samotnému korytu a výhled na pravobřežní inundační území. Některá místa, zejména část úseku za silničním mostem na komunikaci III/4589 byla bohužel obtížně dostupná. Pořízeno bylo více než 120 fotografií zachycujících tok, inundační území a stávající ochrannou hráz. Fotografie doplňují text v následující kapitole 4.5. Celé zájmové území s vyznačeným začátkem a koncem úseku je na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Zájmový úsek Brantice-Kostelec [10]

4.5 Charakteristika zájmového území

Posuzovaná část toku se nachází v katastrálních územích Brantice a Krnov – Horní Předměstí mezi obcemi Brantice a městskou částí Krnov-Kostelec. Úsek má délku 4,38 km a je vymezen dvěma mostními profily. Dle staničení TPE začíná ř. km 73,51 v Kostelci a končí ř. km 77,89 v Branticích (Obr. 4.3). Nadmořská výška území je v rozmezí 327 m n. m. až 345 m n. m., levobřežní komunikace je v úrovni 368 m n. m.

Koryto Opavy je v tomto úseku ve velmi dobrém ekologickém stavu. Nejsou zde patrné žádné významější antropogenní zásahy. Dřevinné porosty jsou také poměrně kvalitní, jedná se o vzrostlé listnaté stromy různorodého zastoupení.

Silniční most v Branticích je jednoplošný, železobetonový s délkou přemostění 30,98 m a šířkou mostovky 8,7 m (Obr. 4.4). Dolní mostovka je v úrovni 345,6 m n. m., most je dostatečně kapacitní i při průtoku Q_{100} .



Obr. 4.4 Silniční most v Branticích, ř. km 77,89

V tomto úseku má koryto tvar jednoduchého lichoběžníkového profilu s proměnlivou šířkou ve dně cca od 8 m do 14 m. Od koncové zástavby obce Brantice protéká Opava v přímém směru po km 77,5, kde se přibližuje k trase levobřežní komunikace I/45. Za tímto profilem koryto pokračuje pravidelnými táhlými oblouky extravilánem mezi obcemi. Po celé délce je koryto v dobrém stavu, má přírodní charakter s vegetačním pásem vzrostlé zeleně šířky místy až 80 m (Obr. 4.5). Levý břeh je oproti pravému značně vyvýšen a až po komunikaci je porostlý vzrostlými dřevinami (Obr. 4.6). Plochy lesů jsou na levém břehu přerušeny v km 75,8 areálem výrobního závodu. Od toho místa se na levém břehu nacházejí louky, které kříží místní komunikace III/4589 v náspu a vytváří tak překážku při průchodu velkých vod.



Obr. 4.5 Pohled na řeku Opavu po proudu, ř. km cca 77,65



Obr. 4.6 Pohled na levý břeh, ř. km 77,169

Na konci zástavby Brantice se na pravém břehu nachází lesní školka kontejnerovaných sazenic BAROZA, s. r. o. Pravý břeh tvoří až po křížení s komunikací v km 75,4 pole, louky a zahrady ohraničující odsunutou zástavbu podél silnice procházející obcí Brantice (Obr. 4.7). Některé louky jsou ohraničeny elektrickým ohradníkem a využívány pro pastvu skotu. V ř. km 76,686 je mrtvé rameno o půdorysné ploše cca 480 m². Za komunikací křížující vodní tok se nachází orná půda.



Obr. 4.7 Pohled na pravobřežní louku a zástavbu obce Brantice

V celé délce zájmového úseku protíná plochu nivy souběžně s tokem nadzemní vedení VVN. Napříč nivou severojižním směrem prochází vodovod DN 150, který podchází pod korytem Opavy. V prostoru pod komunikací III/4589 prochází napříč zájmovým územím a podchází pod korytem Opavy optická a metalická síť elektronických komunikací.

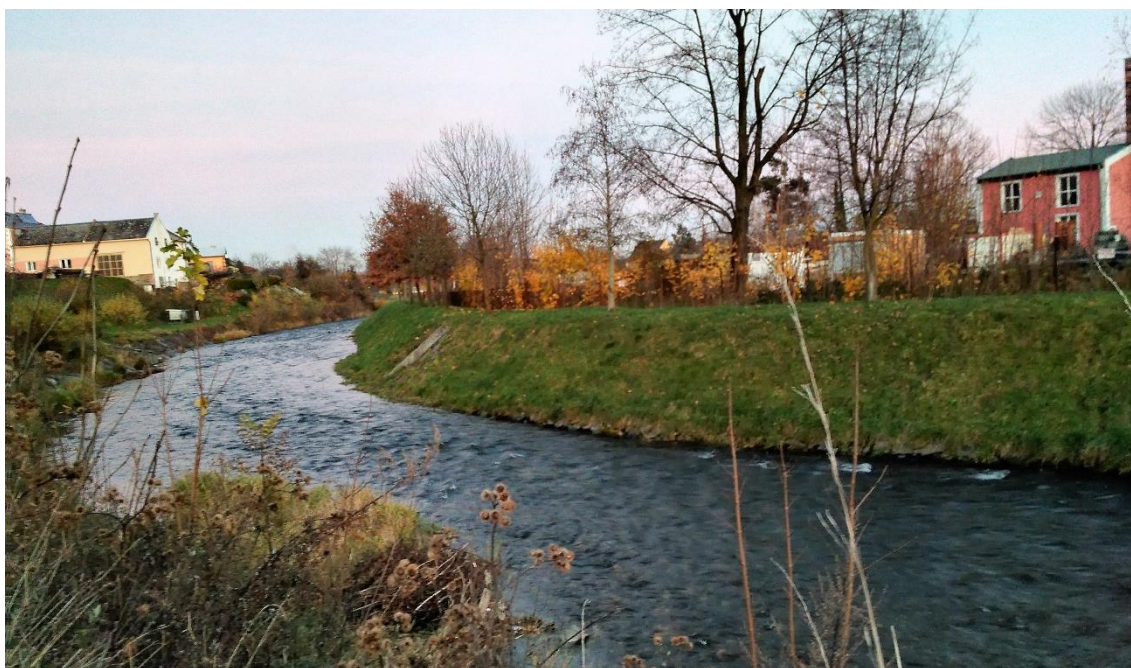


Obr. 4.8 Pohled na řeku Opavu proti proudu, ř. km 75,45



Obr. 4.9 Silniční most, ř. km 75,4

Silniční most v ř. km 75,4 je také jednopolový, železobetonový s délkou přemostění 23,3 m a šířkou mostovky 5,5 m (Obr. 4.9). Most prošel rekonstrukcí v roce 2015. Dolní mostovka je v úrovni 335,79 m n. m. V ř. km 74,97 se meandrující koryto stáčí prudkým pravostranným obloukem a s navazujícím táhlým levostranným obloukem obchází prostor prameniště na levém břehu. Níže po toku v blízkosti silnice do Brantic na pravém břehu jsou plochy zahrad s rodinnými domy, které jsou v dnešní době chráněny zemní hrází výšky cca 0,6 m až 1,2 m (Obr. 4.10). Koryto je v tomto úseku zahloubeno vzhledem k úrovni pravého břehu. Levý, poměrně plochý břeh hustě porostlý dřevinami, vytváří prostor pro inundaci povodňových průtoků (Q_2 až Q_5), které zde vybřežují. Jako opatření proti povodním se zde nachází příčná ochranná hráz, která však způsobuje vzduť hladiny při větších průtocích a ohrožuje naopak přilehlou zástavbu na pravém břehu.



Obr. 4.10 Pohled na stávající ochrannou hráz na pravém břehu, ř. km 73,845

Ve staničení toku km 74,023 – 74,040 se nachází balvanitý skluz (Obr. 4.11). Ten nahradil pevný jez, který zanikl v průběhu povodní v roce 1997. Pravý břeh v tomto profilu je tvořen

kamennou zdí se šikmým spodním svahem opevněným těžkým lomovým kamenem. Na levém břehu je umístěna malá neprovozovaná vodní elektrárna (MVE), která je v soukromém vlastnictví. V km 73,956 pod balvanitým skluzem ústí do toku levostranný přítok (Jelení potok) a trasa koryta Opavy se stáčí pravostranným obloukem směrem na východ a pokračuje téměř přímou trasou ke Kostelci. Ve vrcholu oblouku kříží tok ocelová lávka pro pěší šířky 1,9 m. Podél pravého konvexního břehu v profilu lávky, nad ní i pod ní, se ukládají sedimenty a tvoří se tak štěrkové lavice. Ve staničení km 73,51 dochází ke křížení řeky se silničním mostem (Obr. 4.12). Most je dvoupolový se středovým pilířem, za kterým vznikl vlivem úplavu štěrkový nános, dnes zarostlý travami.



Obr. 4.11 Balvanitý skluz, ř. km 74,04



Obr. 4.12 Silniční most, ř. km 73,51

4.6 Geologické a pedologické poměry

Z geologického hlediska se zájmový úsek nachází v moravskoslezské oblasti Českého masivu, dílčí jednotce moravsko-slezský kulm (spodní karbon) [14]. Kulm je tvořen komplexem klastických sedimentárních hornin s převažujícími černými jílovými břidlicemi. Stáří útvaru je datováno do geologického období kenozoikum (perioda kvartér, období mladších čtvrtohor – holocén).

V oblasti kvartéru se vyskytuje hornina typu fluviálního sedimentu a glacifluviálních uloženin [4]. V údolní nivě je vyvinutá mocná plocha štěrkovitých sedimentů, jejichž nadloží se skládá z vrstvy hlinitých písků a náplavových hlín. Na levém břehu koryta se vyskytují horniny typu břidlice, prachovec a droba z období paleozoikum a nezpevněný písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment z období kenozoikum.

Dle I. a II. Vojenského mapování se trasa koryta za posledních 200 let nezměnila. Předpokládá se pouze s pomístní úpravou zejména příčného profilu řeky. Na pravém břehu jsou patrné pozůstatky morfologických prvků jako např. mrtvé rameno, prohlubně bývalých tůní, obrys meandrového pásu nebo hrana říční terasy.

4.7 Hydrologické poměry

Protože Opava odvodňuje nejvyšší polohy Jeseníků, mívá dostatek vody téměř po celý rok [8]. Nejvyšších průtoků dosahuje koncem jara a nejnižších koncem léta. Průměrný průtok v zájmovém úseku je $Q_a = 4,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a plocha povodí zaujímá rozlohu $352,57 \text{ km}^2$.

Základní hydrologické údaje pro zájmový úsek toku (Opava pod Krasovkou) jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 4.1 a Tab. 4.2). Data byla poskytnuta od ČHMU v roce 2008 s třídou přesnosti II.

Tab. 4.1 m-denní průtoky [8]

m-denní průtoky $Q_m [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$												
30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
9,34	6,58	5,15	4,12	3,52	2,97	2,51	2,12	1,76	1,43	1,08	0,719	0,46

Tab. 4.2 N-leté průtoky [8]

N-leté průtoky $Q_N [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$						
1	2	5	10	20	50	100
24,2	39,7	67,4	94,0	126	176	221

5 Navrhovaná opatření v úseku toku

PPO jsou navržena firmou AQUATIS, a. s. ve spolupráci s firmou ATELIER FONTES, s.r.o. V minulosti byly navrženy odlišné způsoby řešení protipovodňové ochrany v tomto úseku. V rámci investičního záměru projektu OHO – příprava akce v období 2008–2010 se uvažovalo v některých úsecích se změnou trasy revitalizovaného koryta, tvorbou meandrující stěhovavé kynety a vytvořením tůň v průvodní trase koryta (viz. Obr. 5.1) [5]. Tato idea byla přehodnocena a od radikálního technického zásahu do koryta se upustilo.



Obr. 5.1 Ukázka navrhovaných úprav toku z Investičního záměru [5]

Účelem stavby PPO je ochrana zástavby obce Brantice a Kostelec před povodněmi na úroveň odpovídající návrhovému průtoku Q_n [4]. Finální návrh zahrnuje výstavbu nových ochranných hrází a zídky, úpravu stávající hráze, výstavbu odlehčovacího průlehu a revitalizační úpravy toku. Součástí stavby jsou přeložky dotčených inženýrských sítí, oplocení a elektrických ohradníků. Uvažuje se i se zpevněným přechodem pro skot a mobilním hrazením v místě křížení hráze s komunikací III/4589.

5.1 Návrhový průtok

Návrhový průtok Q_n odpovídá průtoku Q_{100} se zohledněním transformačního účinku nádrže Nové Heřminovy a dalších opatření navrhovaných v povodí horní Opavy [4]. Jeho hodnota je $Q_n = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (viz. Tab. 5.1). Koruny ochranných hrází a zdí jsou navrženy na úrovni odpovídající hladině při Q_n s bezpečnostní rezervou 0,5 m. V případě, že by nedošlo k realizaci VD Nové Heřminovy, odpovídala by úroveň ochrany v tomto úseku cca Q_{20} až Q_{50} .

Tab. 5.1 Hodnoty návrhových průtoků [4]

Průtok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	Poznámka
Q_{30d}	9,34	návrhový průtok kynety
Q_{100}	150	návrhový průtok koryta
$Q_{kontrolní}$	240	kontrolní průtok odvozený z PV_{1997} transformované dispečerskou manipulací v nádrži Nové Heřminovy

5.2 Ochranná hráz

Podél pravého břehu od konce zástavby obce Brantice je navržena odsazená ochranná hráz [4]. Homogenní zemní hráz je navržena v úrovni 0,5 m nad hladinou návrhového průtoku Q_n . Návodní

svah hráze je navržen ve sklonu 1:2,5, vzdušný ve sklonu 1:2. Svahy jsou ohumusovány a zatravněny, koruna hráze šířky 3,0 m je upravena na zpevněnou komunikaci šířky 2,5 m a skloněna směrem k toku. V místě křížení hráze s místní komunikací je navrženo její přerušení železobetonovými zdmi, ve kterých jsou drážky pro osazení provizorního mobilního hrazení. Na hrázi jsou navrženy celkem tři přejezdy a jeden přechod pro skot. Podél hráze je navržen odvodňovací příkop pro odvádění průsakové vody.

Níže po toku v oblasti levotočivého oblouku koryta na okraji zástavby Kostelce je navrženo snížení stávající ochranné hráze na pravém břehu a výstavba ochranné zdi v místě stávajícího oplocení zahrad [2]. V prostoru pod balvanitým skluzem je navrženo zvýšení ochranné hráze na požadovanou úroveň ochrany. Taktéž na levém břehu v místě napojení odlehčovacího průlehu na stávající koryto je navržena ochranná zemní hráz. Koruna komunikace bude upravena pro případnou realizaci cyklostezky.

5.3 Úpravy v korytě

Koryto Opavy na konci zástavby obce Brantice je navrženo přírodě blízkého charakteru s meandrující stěhovavou kynetou lichoběžníkového profilu [4]. Dále po toku už vinutí koryta respektuje stávající trasu. Levý břeh je až po ř. km 75,4 zachován bez úprav. Pravý břeh je v tomto úseku místně rozšiřován, a to z důvodu zajištění proudového rozčlenění průtočného profilu a vytvoření mělčin, štěrkových lavic, příp. ostrůvků. V ploše pravého břehu jsou navrženy čtyři neprůtočné tůně. Dále jsou navržena paralelní ramena a zprůtočnění mrtvého ramene bypassem.

Ve vybraných úsecích jsou navrženy výhony, které by měly zvyšovat proudovou pestrost a diverzitu prostředí pro vodní živočichy [4]. Použit bude materiál z rozebraného břehového opevnění nebo kmeny z kácených porostů, u kterých se počítá s dostatečným kotvením proti odplavení. Vložení těchto prvků do koryta mají být podpořeny korytotvorné procesy, usměrněn proud a lokálně podpořen rozliv do údolní nivy.

V prostoru jímacího území v ř. km 74,50-74,85 nad lávkou a nad balvanitým skluzem bude vybudována levobřežní berma [2]. V některých úsecích dojde k vytěžení sedimentů ze dna koryta, rozšíření koryta do levého břehu a opevnění pat svahu.

5.4 Odlehčovací průleh

Odléhčovací průleh je navržen z důvodu zvýšení kapacity průtočného profilu v prostoru jímacího území nad lávkou pro pěší [2]. Při návrhovém průtoku $Q_n = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bude po navržených opatřeních protékat korytem Opavy přibližně průtok $Q_k = (110-115) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a vybudovaným odlehčovacím průlehem přibližně průtok $Q_p = (35-40) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Délka průlehu je cca 300 m, šířka je cca 60 m, povrch průlehu bude po celé jeho délce zatravněn. Nátok do odlehčovacího průlehu je navržen jako balvanitý skluz s přelivnou hranou délky 120 m. Rovněž vyústění do koryta Opavy bude opevněno kamenným záhozem.

5.5 Vegetační doprovod

Podle dendrologického průzkumu se v zájmovém úseku nachází kvalitní a perspektivní porosty, které je snahou v co největší míře zachovat [4]. Kácení porostů je navrženo jen v úsecích s terénními úpravami. Příbřežní pás je doplněn výsadbami porostů (liniových, plošných, skupinových), plochami sukcese a lučními porosty.

6 2D numerický model proudění

6.1 Stávající stav úseku toku

Vytvořená výpočtová síť pro stávající stav úseku toku posloužila pro výpočet dvou stavů a průtoků – stávajícího stavu (SS) pro průtok $Q_{100} = 221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a stávajícího stavu s předpokladem výstavby vodního díla Nové Heřminovy (SS_VDNH) pro průtok $Q_{100n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

6.1.1 Podklady

Pro vytvoření modelu stávajícího stavu byly použity podklady:

- digitální model terénu současného stavu [4],
- ortofotomapa,
- hydrologické údaje [8],
- splaveninová studie [19],
- výstupy rizikové analýzy pro úsek Brantice-Kostelec [23],
- fotodokumentace řešeného území.

Podklady jsou ve výškovém systému Balt po vyrovnání (B.p.v.) a souřadnicovém systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK).

6.1.2 Náhradní oblast

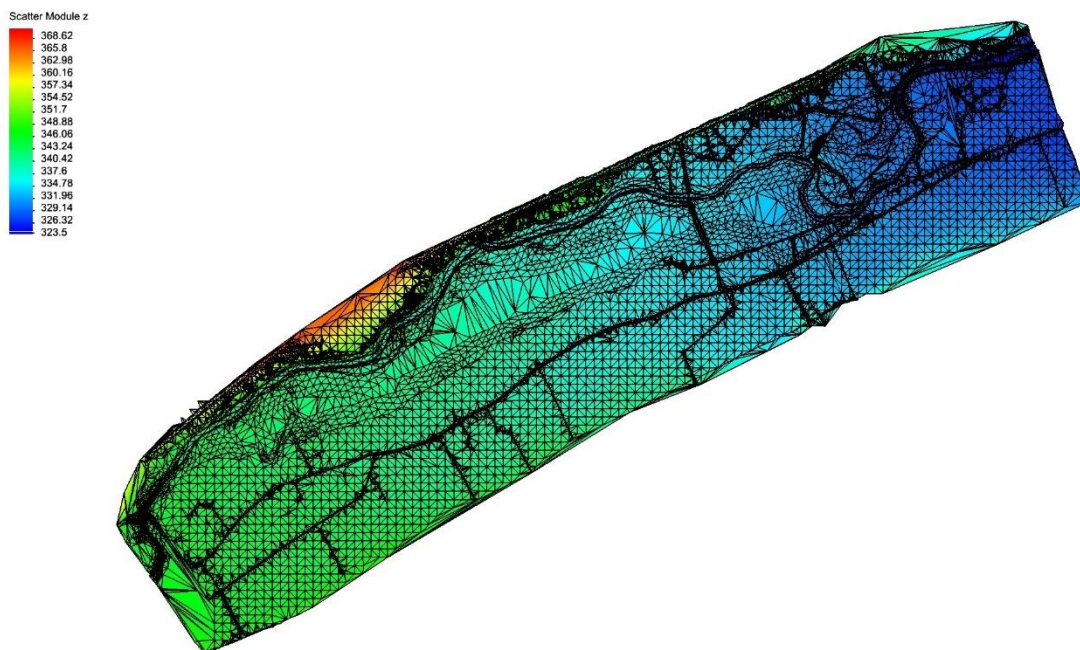
Náhradní oblast byla modelována mezi mosty v obci Kostelec (ř. km 73,51 dle TPE) a Brantice (ř. km 77,89 dle TPE), pro které jsou dostupná kalibrační data (zaměřené úrovně hladin z povodně v roce 1997). Aby nedošlo k výraznému ovlivnění výsledků vlivem okrajových podmínek a aby se zvýšila stabilita výpočtu, byl řešený úsek na přítoku i odtoku prodloužen.

6.1.3 Digitální model terénu

Hlavními podklady pro vytvoření sítě bylo geodetické zaměření koryta Opavy, jeho břehových částí a přilehlé zástavby v úseku Brantice-Kostelec. Prostor mezi vodním tokem a pravobřežní zástavbou obce Brantice je doplněn fotogrammetrickým zaměřením.

Ze zaměřených hodnot byl v programu Autocad Civil 3D od firmy Autodesk vytvořen DMT, který se skládá z trojúhelníkové sítě. DMT stávajícího stavu byl importován do programu SMS 12.2 a převeden do tzv. Scatter modulu. V daném modulu lze síť pomocí dostupných nástrojů libovolně upravovat. Takto vytvořená síť nepokrývala celý zájmový úsek a bylo proto třeba spojit ji s DMT úseku Brantice a Kostelem. Při slučování došlo v některých uzlech sítě k chybné interpolaci a z-tové souřadnice nabývaly nulových nebo extrémních hodnot. Tyto chybné hodnoty bylo nutné ručně přepsat na reálné.

Protože Autocad Civil 3D umí vytvořit síť pouze z trojúhelníkových prvků, bylo třeba celou síť projít a zkontrolovat, zda hrany vytvořených trojúhelníků nekříží hrany povinných spojnic terénu. Tato úprava se týkala hlavně samotného koryta vodního toku.



Obr. 6.1 DMT stávajícího stavu

6.1.4 Výpočetní síť

Na podkladu DMT bylo třeba náhradní oblast rozdělit na jednotlivé polygony. Ke správnému rozdělení posloužila ortofotomapa a ke zpřesnění některých úseků navíc geodetické zaměření. Tvorba sítě probíhala v Map modulu. Byly vytvořeny polygony různých velikostí, a to od nejmenších, postihujících detailní řešení napojení hran po největší, které tvořily hranici polí a luk. Pro všechny stavby a rodinné domy větší než 50 m² byly také vytvořeny polygony. Objektům zástavby byl přiřazen materiál vyznačující se neprůtočností (*Disable*). Mosty, lávky ani propustky nebyly v této práci modelovány.

Po vytvoření polygonů bylo provedeno dělení hran každého polygonu, které má vliv na výslednou velikost prvků výpočtové sítě. U koryta vodního toku a jeho přiléhajícího prostoru byla stanovena rozteč vrcholů hran 9 m. V prostoru údolní nivy mají vrcholy hran polygonů rozteč 10 m, nepředpokládají se zde velké změny proudění. V místech křížení objektů nebo nepravidelných tvarů bylo nutno rozteč vrcholů upravit individuálně. Při dělení hran byla respektována doporučení zmíněná v kapitole 3.3.3.3 pro zvýšení stability výpočtu.

Polygonům byly poté přiřazeny informace o způsobu vytvoření sítě (strukturovaná, nestrukturovaná), připojení DMT a typu materiálu povrchu. Takto připravená síť polygonů se převedla do Mesh modulu, kde se zkontrolovala kvalita jednotlivých prvků sítě. Podklad pro síť byl opraven v Map modulu a opětovně převeden do Mesh modulu. Údaje o počtu prvků jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 6.1).

Tab. 6.1 Údaje o velikosti výpočetních sítí

Stav	Celkový počet prvků	Počet uzlů	Poměr čtyřúhelníkových a trojúhelníkových prvků
SS	48 474	116 375	1 : 1,64
SS_VDNH	59 232	142 461	1 : 1,56



Obr. 6.2 Rozdělení náhradní oblasti dle typu sítě – stávající stav

6.1.5 Materiálové vlastnosti

Hodnoty součinitelů drsnosti zadávané do programu SMS 12.2 byly z důvodu kalibrace převzaty z Hydrotechnických výpočtů Investičního záměru [5]. Součinitel drsnosti je proměnný především s hloubkou. Do hloubky h_1 odpovídající přesnosti měření povrchu je použita hodnota n_1 , která je dvojnásobkem součinitele drsnosti n_2 . Hodnota n_2 platí pro hloubky rovné výšce překážky. Mezi těmito body je použita lineární interpolace. Použité hodnoty jsou uvedeny v Tab. 6.2.

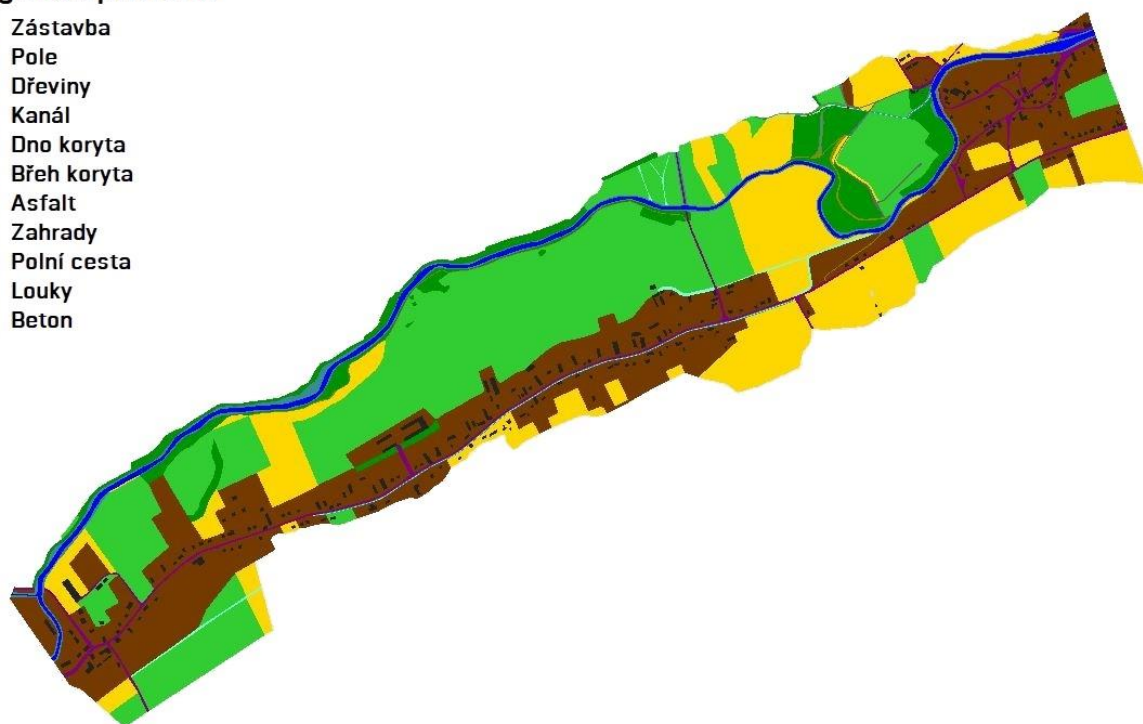
Tab. 6.2 Hodnoty součinitelů drsnosti pro stávající stav [5]

Název	Popis	Součinitel drsnosti proměnný s hloubkou			
Inundační území		h_1 [m]	n_1	h_2 [m]	n_2
Dřeviny		0,2	0,3	0,5	0,15
Louky	Pastviny jednou ročně sekané.	0,2	0,1	0,5	0,05
Pole	Plošný osev nízko rostoucích rostlin.	0,2	0,08	0,5	0,04
Zahrady	Záhony s ojedinělými stromy a průtočnými ploty.	0,2	0,1	0,5	0,05
Polní cesta	Polní a lesní cesta.	0,2	0,05	0,5	0,025

Koryto a trvale zatopené plochy					
Břeh	Svahy a břehy koryta.	0,2	0,12	0,5	0,06
Dno	Dno kynety.	2,0	0,036	5,0	0,036
Kanál	Zarostlý kanál či odstavené zarostlé rameno.	0,2	0,18	0,5	0,09
Voda	Trvale zatopené plochy (rybníky, tůňe).	0,2	0,015	0,5	0,01
Umělé povrchy					
Asfalt	Silnice.	0,2	0,03	0,5	0,015
Beton	Betonový povrch běžného provedení.	0,2	0,036	0,5	0,018

Legenda povrchů

	Zástavba
	Pole
	Dřeviny
	Kanál
	Dno koryta
	Břeh koryta
	Asfalt
	Zahrady
	Polní cesta
	Louky
	Beton



Obr. 6.3 Rozdělení náhradní oblasti dle povrchů – stávající stav

Vedle hodnot součinitele drsnosti se zadali parametry turbulence. Pro první dílčí výpočet byla nastavena počáteční turbulentní viskozita hodnotou $\mu_{t0} = 5$ a součinitelé turbulentní viskozity nabývaly hodnot $c_{\mu1} = 0$ a $c_{\mu2} = 0$.

6.1.6 Počáteční a okrajové podmínky

Za HOP byl zadáván průtok Q , za DOP úroveň hladiny Z_h pro daný průtok. Jako PP byla nastavena vždy úroveň hladiny tak vysoko, aby všechny prvky výpočtové sítě byly pod touto úrovní. Hodnoty použité při prvních dvou výpočtech jsou uvedeny v Tab. 6.3.

Tab. 6.3 Počáteční a okrajové podmínky stávajícího stavu

Výpočetní model	HOP	DOP	PP
Stávající stav	$Q_{100} = 221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	328,0 m n. m.	352,6 m n. m.
Stávající stav s VD Nové Heřminovy	$Q_n = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	326,0 m n. m.	368,7 m n. m.

6.1.7 Nastavení a průběh výpočtu

V nastavení modulu FESWMS bylo nastaveno:

- ustálený režim proudění vody;
- relaxační faktor = 1;
- počet iterací = 1;
- hustota kapaliny $\rho = 999 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- výšková tolerance vysoušení prvků 12 cm;
- počáteční úroveň hladiny (dle Tab. 6.3).

První iterace vycházela ze zvolené počáteční podmínky. Výpočet byl uložen ve formátu *.flo. Ve výpočetní síti modelu se zkontrolovaly rychlosti, hloubky a úroveň hladiny. Vysušené prvky se označily jako neprůtočné, aby se s nimi v dalším kroku nepočítalo. Model byl uložen pod novým názvem do souboru, dolní okrajová podmínka (úroveň hladiny) snížena o 0,1 m a v nastavení výpočtu byl vybrán jako vstupní soubor *INI file* – soubor s předchozím (počátečním) řešením. Po dokončení výpočtu opět následovalo zkontrolování výsledků. Sít s dalšími vysušenými prvky byla uložena, DOP byla snížena opět o 0,1 m a byl vybrán nový vstupní soubor *INI file*, opět z předchozího řešení. Tímto postupem se pokračovalo tak dlouho, dokud se nedosáhlo požadované úrovně hladiny na hranici dolní okrajové podmínky.

V průběhu výpočtu se objevovalo několik známek nestability výpočtu. Nejčastěji se nestabilita projevovala na výsledku svislicových rychlostí, kde minimálně jeden prvek vykazoval zvýšené, někdy až extrémní hodnoty rychlostí. V takovém případě bylo třeba vrátit se ve výpočtu o krok zpět a výpočet provést znovu bez tohoto prvku. K těmto nestabilitám pravděpodobně docházelo velmi rychlým poklesem hladiny na této ploše nebo nedokonalostí výpočetní sítě (velká sklonitost prvku).

6.1.8 Kalibrace modelu

Kalibrací se rozumí úprava vstupních parametrů modelu takovým způsobem, který zajišťuje shodu mezi modelovanými a měřenými podklady na požadované úrovni. Podkladem může být všeobecné přímé měření za stejných povodňových scénářů nebo výsledky z dřívějších simulací [14].

Na konci výpočtu bylo nutné snižovat parametry turbulence u všech typů materiálu na hodnoty použité při výpočtu firmou AQUATIS, a.s. Hodnota počáteční turbulentní viskozity $\mu_{\tau 0}$ byla postupně snižována z 5 na 1 a současně docházelo ke změně součinitele turbulentní viskozity $C_{\mu 2}$ na hodnotu 0,5. Během těchto změn parametrů docházelo k dalšímu poklesu úrovně hladiny, vysušování prvků a projevům nestability.

Jako podklad pro kalibraci byly obdrženy výsledky z 2D modelu, počítaného v programu SMS určené pro rizikovou analýzu. Řešen byl stávající stav (SS_{AQT}) při průtoku $Q_{100} = 221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výstupy z rizikové analýzy obsahovaly mapy úrovní hladin, hloubek a svislicových rychlostí. Po provedení stejného výpočtu na nové výpočetní síti došlo ke kalibraci, kde hlavními srovnávacími parametry byly poloha hladiny a čára rozlivu. Výstupy byly poskytnuty pouze ve formátu *.pdf. Aby bylo porovnání umožněno, byl tento podklad převeden do formátu *.dwg, čímž se čáry rozlivu převedly na křivky a získala se tak hranice rozlivu.

Výsledky porovnání s kalibračními daty jsou v Příloze č. 4.1 Mapa rozlivů (SS a SS_{AQT}). Ta vznikla podložením hranice rozlivu SS_{AQT} mapou úrovní hladin SS . Z mapy jsou patrné rozsahy rozlivů vody pro kulminační průtok Q_{100} . Vnější hranice rozlivu se dá považovat za téměř shodnou. Hranice rozlivu na levém břehu Opavy je až po ř. km 75,3 shodná s kalibračními daty, poté je nově vypočtený rozliv v prostoru dřevin a polí větší (Obr. 6.4). Rozliv v prostoru pod mostním profilem v ř. km 75,4 lze považovat za shodný. Ochranná hráz na levém břehu v ř. km cca 75,0 plní v obou případech svoji funkci a není přelévána. K proudění vody dochází v levé části jejího zavázání.



Obr. 6.4 Porovnání rozlivů (SS a SS_{AQT})

Naopak rozliv na pravé straně inundačního území je dle výpočtu nepatrně menší než kalibrační data. V prostoru zastavěné části obce Brantice je vidět rozdíl v přístupu zahrnování obytných domů do výpočtu. Všechny budovy větší než 50 m^2 byly ve výpočtu označeny jako neprůtočné, v případě dřívějšího výpočtu tomu tak bylo jen u části z nich. Zaplavená část obce Kostelec je téměř shodná. V nynějším výpočtu voda přelévá pravobřežní ochrannou hráz v prostoru pod balvanitým skluzem a zaplavuje tak s minimálními hloubkami vody areál stavební firmy RAKORD, s. r. o. V pravé dolní části modelované oblasti záplavového území dochází k menšímu rozlivu vody. To mohlo nastat např. odlišnými typy povrchů a s nimi souvisejícími hodnotami součinitelů drsnosti.

6.1.9 Výsledky

Výsledky řešení jsou ve formě datového souboru programu *.flo. Pro prezentování výsledků jsou uloženy ve formě obrázků ve formátu *.jpg. Vypočítány jsou hodnoty úrovně hladiny Z_h , hloubky vody h a svislicové rychlosti v_s . Jednotlivé výstupy, konkrétně mapy úrovní hladin, mapy hloubek vody a mapy svislicových rychlostí pro oba počítané průtoky Q_{100} a $Q_{100,n}$ stávajícího stavu jsou v Přílohách č. 1 a 2 a popsány v kapitolách 7.1 a 7.2.

6.2 Návrhový stav úseku toku

6.2.1 Podklady

Pro vytvoření modelu návrhového stavu (NS) byly použity podklady:

- DMT stávajícího stavu;
- koordinační situace navrhovaných opatření [4] [2];
- podélné profily (osou vodního toku, hrázemi, odlehčovacím průlehem) [4] [2];
- příčné řezy [4] [2];
- technické zprávy jednotlivých opatření [4] [2].

Podklady jsou ve výškovém systému Balt po vyrovnání (B. p. v.) a souřadnicovém systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK).

6.2.2 Náhradní oblast

Náhradní oblast byla oproti stávajícímu stavu zmenšena o území za ochrannými hrázemi, popř. zídkou.

6.2.3 Digitální model terénu

Hlavním podkladem pro vytvoření sítě byl DMT stávajícího stavu. Nejprve bylo nutné nastudovat veškerý dostupný materiál, aby bylo jasné, jaká opatření jsou navržena, s jakými parametry a jaká je jejich vazba na okolí. V tomto čase bylo rozhodnuto o důležitosti jednotlivých objektů a některá z nich nebyla modelována z důvodu nízkého vlivu na výsledné proudění. Trojúhelníková síť návrhového stavu byla vytvořena v programu Autocad Civil 3D, kde je umožněno modelovat terén pomocí mnoha nástrojů a šablon. Všechna navržena opatření byla uložena do samostatných vrstev povrchů a postupně slučována se stávajícím povrchem.

Podle umístění osy pravobřežní ochranné hráze v situaci byla navržena její trasa ve stávajícím DMT. V ose trasy byl vykreslen podélný profil terénu, do kterého se navrhla niveleta koruny hráze. Model hráze byl vytvořen pomocí nástroje koridor, ke kterému je nutno přiřadit šablonu typických řezů hráze (obsahuje sklony svahů, sklon a šířku koruny hráze) a určit napojení tělesa na stávající terén. Z důvodu zjednodušení modelu nebyly modelovány sjezdy hrází. Stejně tak nebylo modelováno křížení hráze se stávající komunikací III/4585, hráz je v tomto místě modelována bez přerušení. Na výsledek řešení by toto zjednodušení nemělo mít vliv, neboť návrh PPO počítá s uzavřením tohoto profilu pomocí mobilního hrazení. Při vytváření dalších ochranných hrází byl použit stejný postup. V úseku na začátku zástavby obce Kostelec, kde je navrženo snížení stávající ochranné hráze se nový terén modeloval stejně, jen s rozdílem snížení nivelety trasy hráze.

Autocad Civil 3D nedokáže modelovat svislé hrany objektů. Ochranné zídky v prostoru zahrad obce Kostelec byly proto modelovány stejně jako ochranné hráze. Sklon svahů byl volen maximální možný cca 100 : 1, tedy téměř svislý.

Rozšíření koryta v daných úsecích bylo modelováno také pomocí tras, příp. pomocí návrhových linií, kterým byly přiřazeny nadmořské výšky. Tůň nepravidelných tvarů byly vytvořeny pomocí dvou či více návrhových linií (pro dno a břeh). Podle vzorových příčných řezů z dokumentace byly návrhovými liniím dna přiřazeny navrhované výšky. Protože tůň jsou uvažovány s nepravidelným tvarem dna, ostatní hodnoty výšek byly získány interpolací mezi zadanými výškami.

Výhony ani kotvené dřevo nebyly v programu Autocad Civil 3D modelovány. Jejich přítomnost v korytě nemá významný vliv na proudění vzhledem k velikosti modelované oblasti. Ve výpočetní síti v programu SMS 12.2 byly zakomponovány do výpočtu změnou materiálu a zvýšením součinitele drsnosti u několika prvků.

Povrch odlehčovacího průlehu byl modelován ve třech krocích. V prvním kroku bylo pomocí trasy a koridoru vytvořeno koryto průlehu se známými sklony svahů. V dalším kroku byla vymodelována přelivná hrana průlehu jako snížená břehová hrana pomocí návrhové linie v příslušné výškové úrovni. Pomocí zemního tělesa a návrhové linie se vytvořila přelivná plocha průlehu. Oba takto vzniklé povrchy se sloučili do jednoho.

Po vložení všech dílčích povrchů do povrchu stávajícího se nová trojúhelníková síť převedla do Scatter modulu v programu SMS 12.2. Za předpokladu, že je síť správně vymodelovaná by se voda neměla dostat za ochranné hráze. Síť je z tohoto důvodu oříznuta. Vzdušní svah hráze ani odvodňovací příkop nejsou součástí modelu, ponechána je pouze koruna hráze.

6.2.4 Výpočetní síť

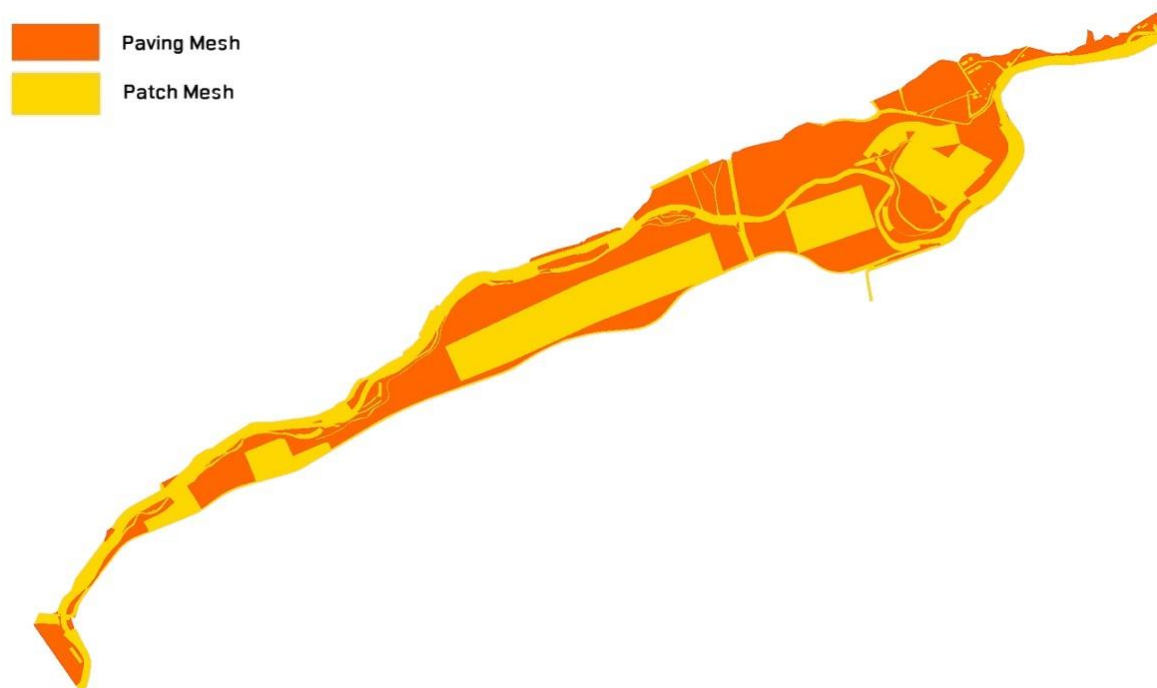
Výpočetní síť návrhového stavu vznikla úpravou sítě stávajícího stavu. Po vytvoření polygonů kopírujících ochrannou hráz pravobřežního území byly polygony za touto hranou odebrány z modelu. Podkladem pro tvorbu polygonů byl DMT s trojúhelníkovou sítí a koordinační situace navrhovaných opatření ve formátu *.dwg. V úsecích s navrhovanou změnou v korytě toku nebo přibřežních zónách bylo třeba některé polygony odstranit a nahradit je novými, které udávaly nový stav území.

U vzniklých polygonů se provedlo dělení hran na jednotlivé vrcholy. U ochranných hrází jsou vrcholy umístěny po 8,5 m, úseky s rozšířením v korytě jsou děleny s ohledem na počet vrcholů dna a břehu stávajícího stavu. Rozteč vrcholů u tůň je dána jejich tvarem. Při dělení hran byla respektována doporučení zmíněná v kapitole 3.3.3.3 pro zvýšení stability výpočtu.

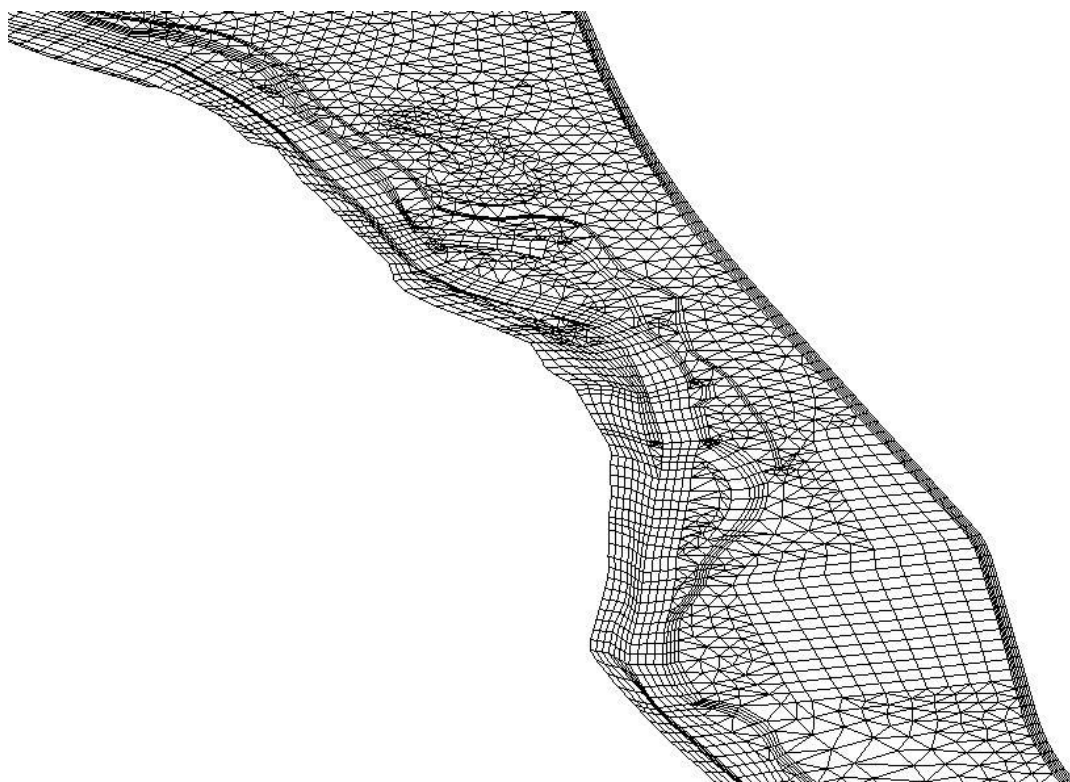
Nově vytvořeným polygonům byly přiřazeny informace o způsobu vytvoření sítě (strukturovaná, nestrukturovaná - Obr. 6.5), připojení DMT a typu materiálu povrchu. Takto připravená síť polygonů se převedla do Mesh modulu, kde se zkontrolovala kvalita jednotlivých prvků sítě. Podklad pro síť byl opraven v Map modulu a opětovně převeden do Mesh modulu. Názorná ukázka části sítě je na Obr. 6.6 a Obr. 6.7. Z obrázků je patrné, že strukturovaná síť je v prostoru koryta vodního toku, ochranných hrází a na velkých plochách území (pole). Trojúhelníková nestrukturovaná síť potom tvoří část revitalizačních úprav a prostor mezi hrází a vodním tokem. Údaje o počtu prvků jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 6.4).

Tab. 6.4 Údaje o velikosti výpočetní sítě návrhového stavu

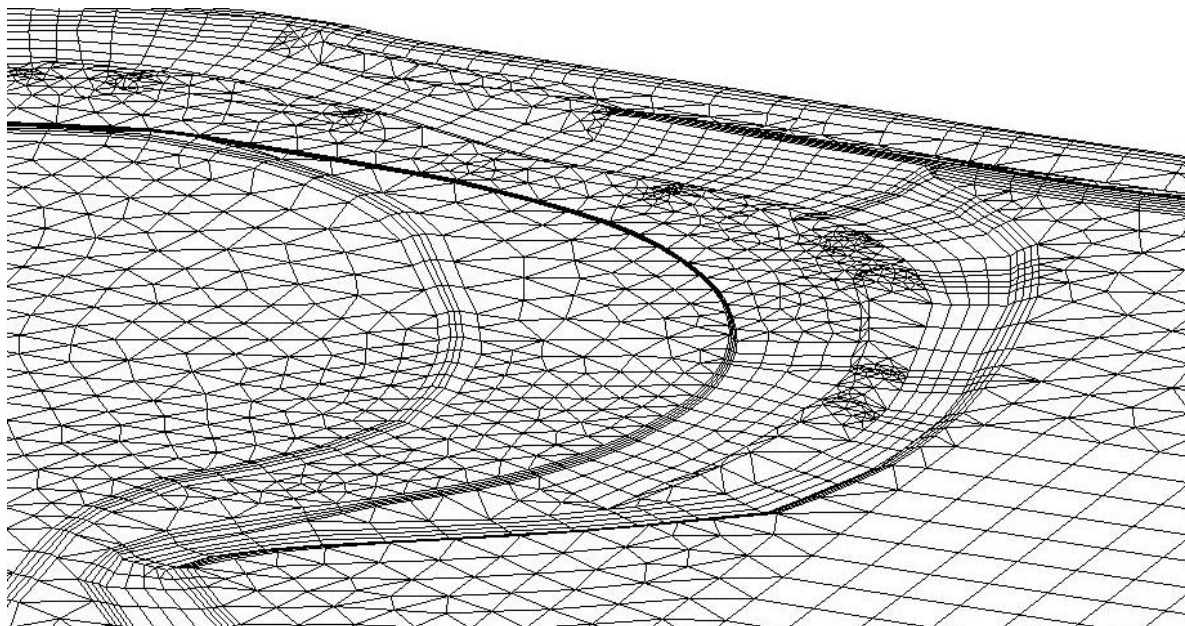
Výpočetní síť	Celkový počet prvků	Počet uzlů	Poměr čtyřúhelníkových a trojúhelníkových prvků
NS	32 642	82 719	1 : 1



Obr. 6.5 Rozdělení náhradní oblasti dle typu sítě – návrhový stav



Obr. 6.6 Ukázka výpočetní sítě – úpravy v korytě



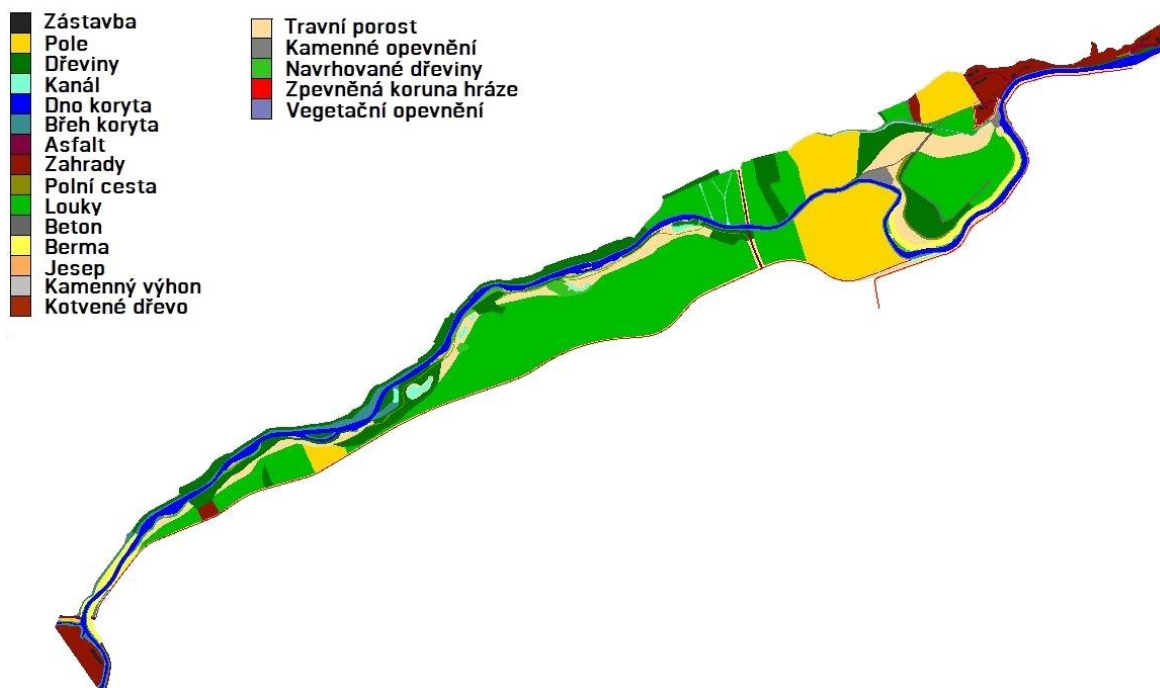
Obr. 6.7 Ukázka výpočetní sítě – levobřežní berma

6.2.5 Materiálové vlastnosti

Při výpočtu byly použity hodnoty součinitelů drsnosti z Tab. 6.2, rozšířené o hodnoty součinitelů drsnosti pro materiály související s návrhovým stavem (Tab. 6.5). Hodnoty n_2 byly stanoveny na základě odborného odhadu s využitím odborné literatury, hodnoty n_1 jsou dvojnásobkem hodnot n_2 . Rozdělení náhradní oblasti dle povrchů je patrné z Obr. 6.8.

Tab. 6.5 Doplnující hodnoty součinitele drsnosti pro návrhový stav

Název	Popis	Součinitel drsnosti proměnný s hloubkou			
Inundační území		h_1 [m]	n_1	h_2 [m]	n_2
Navržené dřeviny		0,2	0,3	0,5	0,15
Koryto a trvale zatopené plochy					
Berma	Travní porost.	0,2	0,07	0,5	0,035
Jesep	Štěrkové lavice.	0,2	0,12	0,5	0,06
Výhony	Kamenné výhony ve dně toku.	2,0	0,20	5,0	0,10
Kotvené dřevo	Kmeny stromů.	0,2	0,20	0,5	0,10
Kamenné opevnění	Opevnění břehů, průlehu.	0,2	0,064	0,5	0,032
Travní porost	Zatravněný průleh.	0,2	0,07	0,5	0,035
Vegetační opevnění	Opevnění břehu.	0,2	0,12	0,5	0,06
Umělé povrchy					
Zpevněná koruna hráze	Štěrk (0 – 90) mm	0,2	0,056	0,5	0,028



Obr. 6.8 Rozdělení náhradní oblasti dle povrchů – návrhový stav

6.2.6 Počáteční a okrajové podmínky

Za horní okrajovou podmínku byl zadán návrhový průtok Q_n za dolní okrajovou podmínku úroveň hladiny Z_h pro daný průtok. Jako počáteční podmínka byla nastavena úroveň hladiny tak vysoko, aby všechny prvky výpočetní sítě byly pod touto úrovní. Tato úroveň je oproti stávajícímu stavu nižší (cca o 10 m), což mělo vliv na celkovou dobu trvání výpočtu, která byla kratší. Hodnoty PP a OP pro návrhový stav jsou uvedeny v Tab. 6.6.

Tab. 6.6 Počáteční a okrajové podmínky návrhového stavu

Výpočetní model	HOP	DOP	PP
NS	$Q_n = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	324,7 m n. m.	352,7 m n. m.

6.2.7 Nastavení a průběh výpočtu

V nastavení modulu FESWMS bylo nastaveno:

- ustálený režim proudění vody;
- relaxační faktor = 1;
- počet iterací = 1;
- hustota kapaliny $\rho = 999 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- výšková tolerance vysoušení prvků 12 cm;
- počáteční úroveň hladiny (dle Tab. 6.6).

Postup výpočtu je shodný s již uvedeným v kapitole 6.1.7 u SS. Ve snižování úrovně hladiny vody se pokračovalo tak dlouho, dokud se nedosáhlo požadované úrovně hladiny na hranici dolní okrajové podmínky.

Vzhledem k tomu, že výpočetní síť je podstatně menší než síť SS, a navíc voda protéká ohraničeným profilem, výpočet byl daleko stabilnější a rychlejší než u předchozích výpočtů. Když se objevily známky nestability, problém byl řešen opět vrácením se o krok zpět, prohledáním sítě prvků a přiřazením neprůtočnosti vadnému prvku.

Na konci výpočtu bylo nutné snižovat parametry turbulence u všech typů materiálu na hodnoty použité při výpočtu firmou AQUATIS, a.s. Počáteční turbulentní viskozita μ_{t0} byla postupně snižována z hodnoty 5 na hodnotu 1 a současně docházelo ke změně součinitele turbulentní viskozity $C_{\mu2}$ na hodnotu 0,5. Během těchto změn parametrů docházelo k dalšímu vysušování prvků a projevům nestability.

6.2.8 Výsledky

Výsledky řešení jsou ve formě datového souboru programu *.flo. Pro prezentování výsledků jsou uloženy ve formě obrázků ve formátu *.jpg a hranice rozlivu v *.dwg. Vypočítány jsou hodnoty úrovně hladiny Z_h , hloubky vody h a svislicové rychlosti v_s . Jednotlivé výstupy, konkrétně mapa úrovní hladin, mapa hloubek vody a mapa svislicových rychlostí pro počítaný průtok $Q_{100,n}$ jsou v Příloze č. 3 a pospány v kapitole 7.3.

7 Popis proudění a jeho porovnání

V první části kapitoly jsou popsány výsledky výpočtů včetně jejich zhodnocení. V druhé části jsou porovnány výsledky všech stavů podle Tab. 7.1. Všechny mapy jsou zobrazeny na podkladu ortofotomapy v měřítku 1 : 10 000.

Všechny výsledné hodnoty jsou přímo vypočteny programem SMS v jednotlivých bodech výpočetní sítě. V mapách Příloh č. 1 až 3 jsou výsledné hodnoty Z_h , h a v znázorněny barevnými odstíny a jsou vykreslovány jako polygony podle dosažení nebo překročení hodnot lineárního dělení v rozsahu daném legendou. Rozsahy hodnot v legendách a velikosti zobrazovaných intervalů jsou v tabulkách u každé kapitoly. Plochy v mapě bez barevné výplně znázorňují prostor, kde se voda nenachází.

Tab. 7.1 Přehled porovnávaných stavů řešení

Označení	Stav	Průtok	Porovnání	Výstupy
SS	Stávající stav	$Q_{100} = 221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	SS a SS _{AQT} = kalibrace	rozlivy
SS_VDNH	Stávající stav s VD Nové Heřminovy	$Q_{100n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	SS_VDNH – SS	rozliv, ΔZ_h , Δh , Δv
NS	Návrhový stav opatření s VD Nové Heřminovy	$Q_{100n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	NS – SS	rozliv, ΔZ_h , Δh , Δv
			NS – SS_VDNH	rozliv, ΔZ_h , Δh , Δv

K porovnání dosažených výsledků bylo potřeba vytvořit rozdílové mapy. Z důvodu nefunkčnosti porovnávacího nástroje v programu SMS byl zvolen alternativní postup stanovení rozdílů. Nejprve byl vytvořen vztažný model sítě, aby bylo možné od sebe odečítat výsledky bodů o stejných souřadnicích výpočetní sítě. Vztažnému modelu byly přiřazeny hodnoty veličin Z_h , h a v pomocí interpolace do zových souřadnic.

Jednotlivé výsledky z programu SMS byly uloženy v textovém formátu *.txt a převedeny do tabulkové podoby v programu MS Excel. Z tabulky byly odstraněny hodnoty charakterizující vysušené uzly. Následně byl proveden rozdíl ΔZ_h , Δh a Δv . Jednotlivé výsledky rozdílů byly společně s x -ovou a y -ovou souřadnicí uloženy do *.txt a zpětně načteny do programu SMS jako Scatter set. Takto vytvořená rozdílová mapa byla zbavena trojúhelníkových prvků, které v mapě představují vysušené plochy, kde je rozdíl výsledků nulový. Stejný postup byl proveden při vytváření všech rozdílových map.

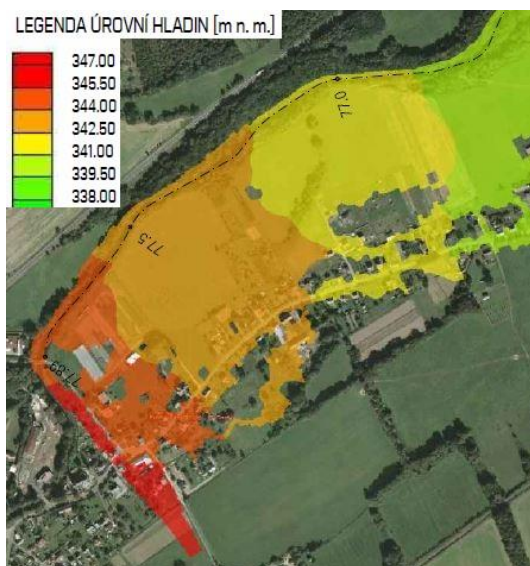
7.1 Stávající stav

Tato kapitola pojednává o proudění v zájmovém úseku za předpokladu nejnepříznivějšího stavu. Za něj se v této práci považuje proudění při stoletém průtoku a ponechání stávajícího stavu bez úprav, tedy bez jakýchkoliv ochranných opatření. Informace o rozsahu hodnot v legendách jednotlivých příloh jsou v Tab. 7.2.

Tab. 7.2 SS, informace o přílohách

Č. přílohy	Obsah	Rozsah hodnot v legendě		Velikost zobrazovaného intervalu
		Min.	Max.	
1.1	Mapa úrovní hladin	326,00 m n. m.	347,00 m n. m.	1,5 m
1.2	Mapa hloubek vody	0,0 m	5,0 m	1,5 m
1.3	Mapa svislicových rychlostí	0,0 m·s ⁻¹	5,0 m·s ⁻¹	0,5 m·s ⁻¹

Barevné přechody v Příloze č. 1.1 ukazují pokles úrovně hladiny ve směru proudění. Na konci řešeného úseku v ř. km 77,89 (most v Branticích) dosahuje úroveň hladiny 345 m n. m. a na začátku úseku v ř. km 73,51 (most v Kostelci) dosahuje úroveň hladiny hodnoty cca 327,9 m n. m. Výsledky jednoznačně ukazují, že levý, poměrně strmý břeh koryta Opavy tvoří hranici rozlivu (Obr. 7.1). Komunikace I/45, kopírující vodní tok na levém břehu, tak není nijak ohrožena stoletým průtokem. K rozlivu do levého inundačního území dochází až v místě snížení břehu v prostoru před silničním mostem (ř. km 75,4). Rozlivu vody z koryta do pravého inundačního území nebrání žádné ochranné hráze či jiné překážky, a navíc je rozliv podpořen morfologií terénu.



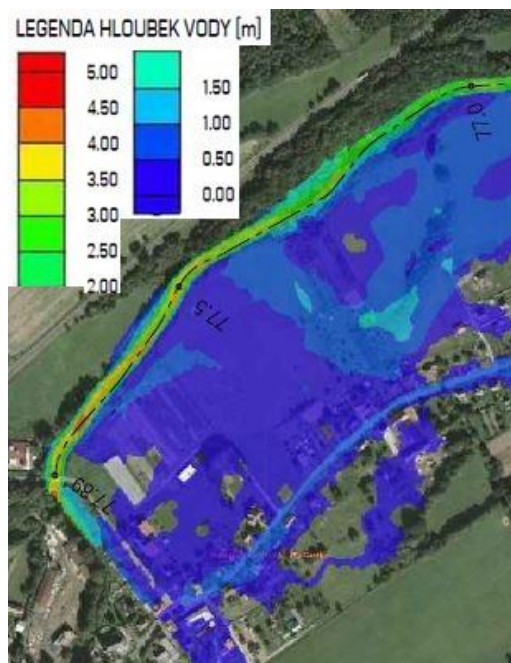
Obr. 7.1 SS, úroveň hladiny, horní část úseku

Šířka rozlivu je proměnná. Nejmenší šířka rozlivu je cca 370 m v horní části úseku toku po ř. km 76,8 a pak také v dolní části úseku, kde se nachází zástavba obce Kostelec. Největší šířka rozlivu vody je cca 710 m v místě křížení koryta vodního toku s místní komunikací III/4589.

Dle Přílohy č. 1.2 a 1.3 je na první pohled zřetelné, že největší hloubky a svislicové rychlosti jsou v samotném korytě Opavy, kde se extrémní hodnoty hloubek pohybují kolem 3,5 m a svislicových rychlostí kolem 4 m·s⁻¹. V přímých tratích se střídají úseky s pomalým a rychlým prouděním.

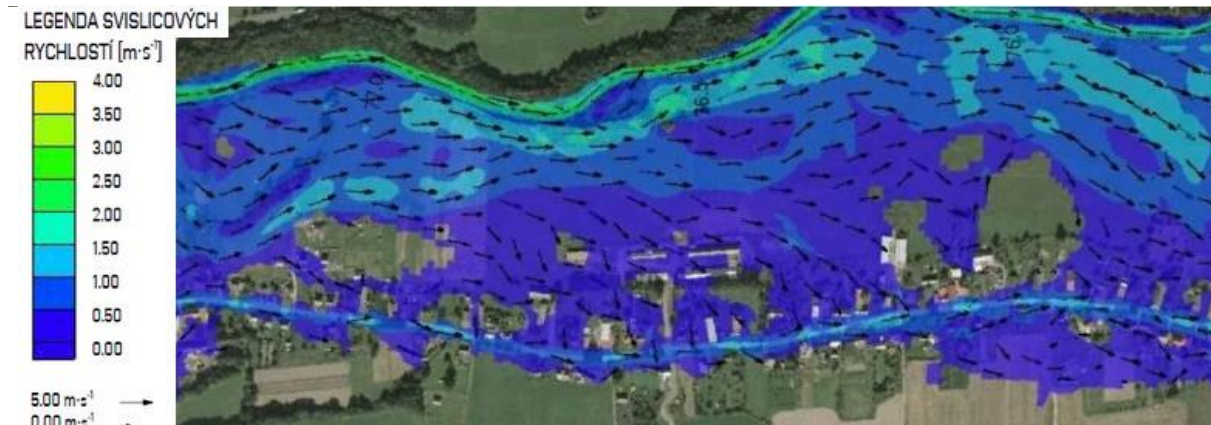
V horní části úseku se voda vylévá z koryta a proudí po místní komunikaci obcí Brantice (Obr. 7.2). Mostním profilem v ř. km 77,89 voda protéká rychlostí 3,3 m·s⁻¹. Tento železobetonový most je dostatečně kapacitní, dolní mostovka je v úrovni 345,6 m n. m. a úroveň vodní hladiny je na

kótě 344,98 m n. m. Pod tímto profilem jsou hloubky v korytě místy větší než 3 m a voda proudí přímým úsekem relativně velkými rychlostmi kolem $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jak je vidět z Přílohy č. 1.3, voda se z koryta Opavy rozlévá do pravého inundačního území ve vzdálenosti asi 40 m pod mostním profilem. Lesní školka kontejnerovaných sazenic BAROZA, s. r. o. nacházející se v tomto prostoru je zaplavena o hloubce cca 0,4 m.



Obr. 7.2 SS, hloubky vody, horní část úseku

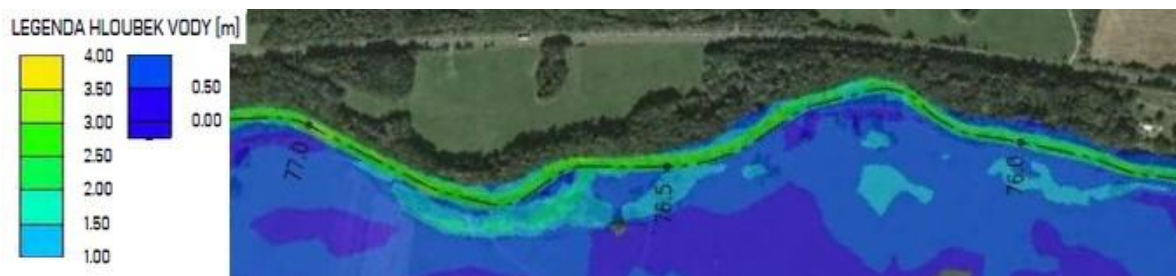
Údolní niva v extravilánu Brantice je plochá bez větších překážek. Inundační území převážně zemědělského využití (louky a pastviny) je zaplaveno vodou o hloubkách do 1 m. Rychlosti postupně klesají se vzdáleností od koryta vodního toku z hodnot přibližně $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dále od toku jsou terénní vyvýšeniny, které voda obtéká. Podél místní komunikace je v horní části úseku zaplaveno 83 domů o hloubce vody do 0,5 m, včetně obecního úřadu (úroveň hladiny 345,87 m n. m.), pošty, základní a mateřské školy (úroveň hladiny 343,9 m n. m.) a obecní knihovny. Tyto neprůtočné objekty představují překážku proudění a dle šipek znázorňujících směr proudění jsou tyto plochy obtékány (Obr. 7.3). Při obtékání dochází k nárůstům rychlostí.



Obr. 7.3 SS, rychlostní pole, obtěkání překážek v inundačním území

Po vylití vody z koryta v ř. km 77,25 voda proudí souběžně s korytem Opavy. Hloubky vody v úseku ř. km 75,5 až 77,0 dokazují, že v těchto místech v minulosti došlo pravděpodobně ke snížení terénu vlivem vodní eroze během zvýšených průtoků nebo se zde nachází pozůstatky historických morfologických útvarů koryta. Dochází zde k nárůstu rychlostí na hodnoty cca $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v terénních prohlubních až na $1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Voda protéká přes samovolně vytvořený bypass do mrtvého ramene Opavy, kde hloubky dosahují hodnot cca 1,5 m (Obr. 7.4). Dochází k soustředění zrychleného proudu směrem k náspu komunikace III/4589, kde je vidět změna v proudění a pokles úrovně hladiny. Před náspem komunikace voda proudí rychlostmi cca $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubce 0,8 m. Na koruně komunikace vlivem snížení úrovně hladiny jsou hloubky cca 0,4 m a vlivem příčného sklonu vozovky rychlosti překračují hodnotu $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Rozliv vody v inundačním území způsobuje zaplavení

zemědělského areálu ZÁTOR – AGROZAT, s. r. o., kde hloubky dosahují hodnot kolem 0,7 m a úroveň hladiny u tohoto objektu je na kótě 339,86 m n. m.



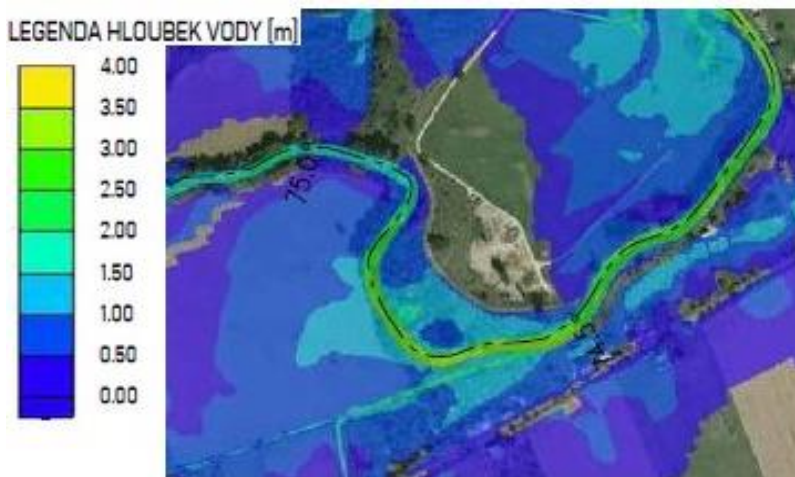
Obr. 7.4 SS, hloubky vody, pravý břeh koryta v místě mrtvého ramene

Voda proudí po komunikaci vedoucí zástavbou Brantice dosahuje hloubek kolem 0,6 m. Komunikace vlivem nízké hodnoty součinitele drsnosti a její snížené úrovně oproti okolnímu terénu koncentruje průtok s rychlostmi kolem $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ po celé její délce až na konec obce. Jak naznačují vektory svislicové rychlosti, voda na komunikaci přitéká také poproudě zleva z přilehlých luk a pastvin a vylévá se do pravostranného prostoru domů, zahrad, luk a polí (Obr. 7.3). Celkem je vodou zasaženo více než 100 domů. Podél komunikace je odvodňovací příkop, voda v něm proudí rychlostí $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ o hloubce 1,0 m až 1,5 m. Pravá hranice rozlivu zasahuje až do prostor luk a polí za zástavbou obce Brantice. Je zde patrný rozšiřující se rozliv vody směrem po toku.

Stávající příčná ochranná hráz na levém břehu poblíž ř. km 75,0 způsobuje změnu úrovně hladiny před hrází a za hrází. Hráz způsobuje vzduť hladiny vody, která ohrožuje zástavbu na pravém břehu. Voda k hrázi přitéká rychlostí $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ až $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, kolem levého zavázání hráze voda proudí zvýšenou rychlostí $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ do prostoru prameniště. Odtud proudí po trase Jeleního potoka směrem ke korytu Opavy.

Proudění v meandrujícím korytě před ř. km 75,0 vykazuje nízké hodnoty rychlostí ($0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a hloubky vody cca 1,7 m.

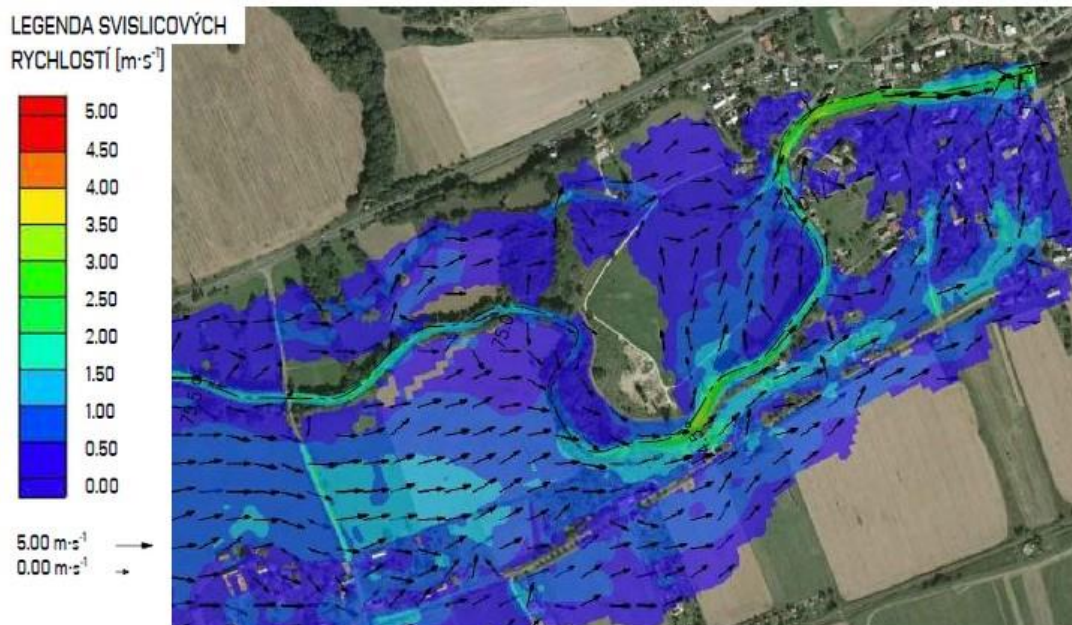
Rychlosti a hloubky narůstají až v nárazovém levotočivém oblouku. Hloubky lokálně přesahující 3,5 m naznačují, že koryto je v této části zahloubeno. Navíc se na pravém břehu nachází ochranná hráz, která zvětšuje kapacitu koryta. Z Obr. 7.5 je také patrné, že největší hloubky jsou v nárazových březích, kde se soustavně tvoří výmoly. Odtud se voda vylévá



Obr. 7.5 SS, hloubky vody, úsek meandrujícího koryta Opavy

z koryta do pravého území a vzniká tak soustředěný odtok vody v prostoru za pravobřežní hrází. V části toku pod ř. km 74,5 dochází k levobřežnímu rozlivu a voda stéká zatravněnou plochou k vyústění levostranného přítoku do koryta Opavy. Levobřežní hráz podél levotočivého meandru udržuje vodu v příbřežním pásu. Ochranné hráze na pravém břehu v prostoru zahrádek rodinných domů (cca od ř. km 74,5) nemají dostatečnou výšku a neplní tak při posuzovaném průtoku ochrannou funkci.

V prostoru neprovozované MVE a vyústění levobřežního přítoku do Opavy jsou hloubky vody poměrně velké, přesahující 1 m. V korytě pod lávkou pro pěší dochází ke zrychlení proudu až na hodnoty $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a se snižující se rychlostí voda protéká profilem Opavy směr Krnov (Obr. 7.6). Hloubka vody v korytě je 3 m. V místě křížení řeky s mostem v ř. km 73,51 dochází k vybřežení. Hloubka vody 0,4 m až 1,4 m dosahuje k 68 domům v Kostelci.



Obr. 7.6 SS, rychlostní pole, dolní část úseku

7.2 Stávající stav s VD Nové Heřminovy

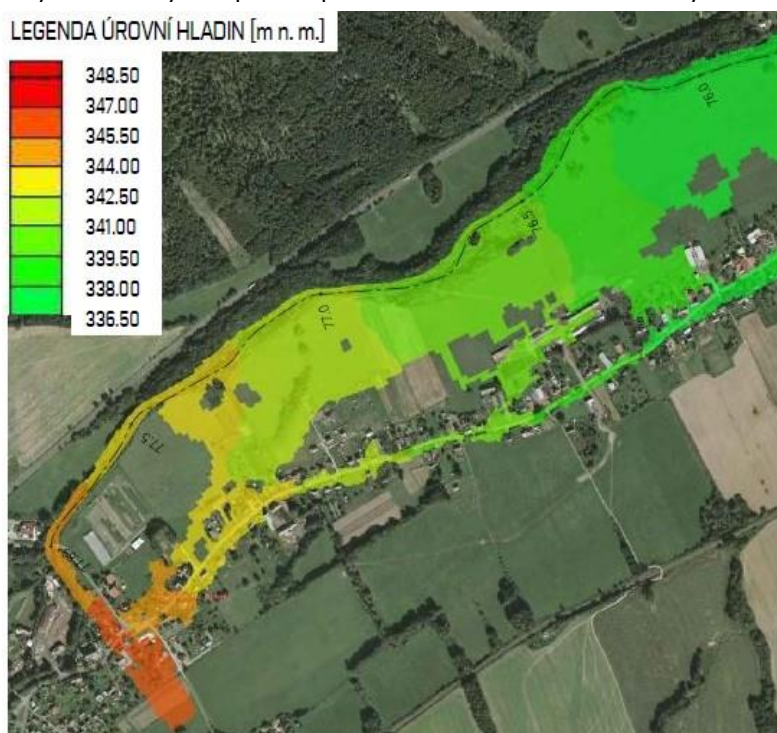
Stávající stav s VD Nové Heřminovy s návrhovým průtokem byl simulován pro získání představy, jak velké škody by napáchal stoletý průtok v případě, že by bylo vybudováno VD Nové Heřminovy, ale nebyla by realizována PPO. Korytem řeky Opavy by po transformaci VD protékal průtok o velikosti $Q_{100n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je hodnota průtoku mezi dnešním Q_{20} a Q_{50} . Popisované přílohy a rozsah hodnot jejich legend je v Tab. 7.3.

Tab. 7.3 SS_VDNH, informace o přílohách

Č. přílohy	Obsah	Rozsah hodnot v legendě		Velikost zobrazovaného intervalu
		Min.	Max.	
2.1	Mapa úrovní hladin	327,50 m n. m.	348,50 m n. m.	1,5 m
2.2	Mapa hloubek vody	0,0 m	5,0 m	1,5 m
2.3	Mapa svislicových rychlostí	0,0 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	4,0 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0,5 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Při menším průtoku vody je hlavně v horní polovině zájmového úseku pozorovatelný menší rozliv vody. V dolní části úseku se voda rozlévá takřka stejně jako při SS. Na konci řešeného úseku v ř. km 77,89 (most v Branticích) voda proudí rychlostí $2,46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ o hloubce 2,89 m a úroveň hladiny je 346,64 m n. m. Na začátku úseku v ř. km 73,51 (most v Kostelci) voda proudí rychlostí $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ o hloubce 3,46 m, úroveň hladiny je na kótě cca 328,0 m n. m. Komunikace I/45 na levém břehu není vodou ohrožena.

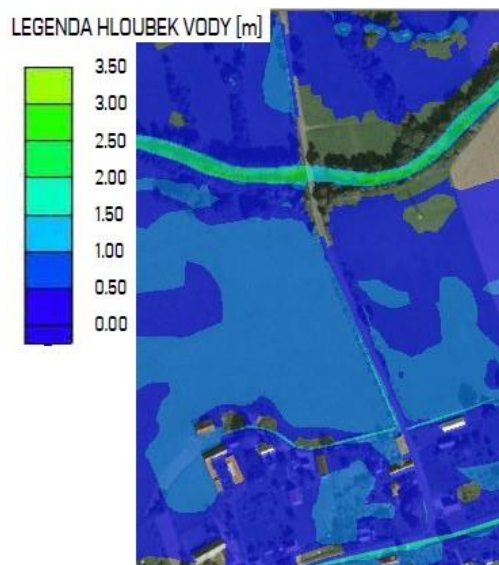
V horní části úseku se voda vylévá z koryta a proudí po komunikaci obcí Brantice rychlostí $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Podél komunikace je zaplaveno 45 domů. Pod mostním profilem v Branticích se voda v přímém úseku drží v korytě a až poté se vylévá do pravého břehu (Obr. 7.7). Hloubky v korytě toku jsou v rozmezí $3,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ až $3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Podnik BAROZA, s.r.o. nacházející se při pravém břehu není vodou zasažen. Na počátku rozlivu je znatelný téměř kolmý odtok vody z koryta po dráze soustředěného odtoku. V pravém Inundačním území, kde se nachází převážně plochy pastvin a luk, voda proudí rychlostí $0,42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, se vzdáleností od koryta klesá na



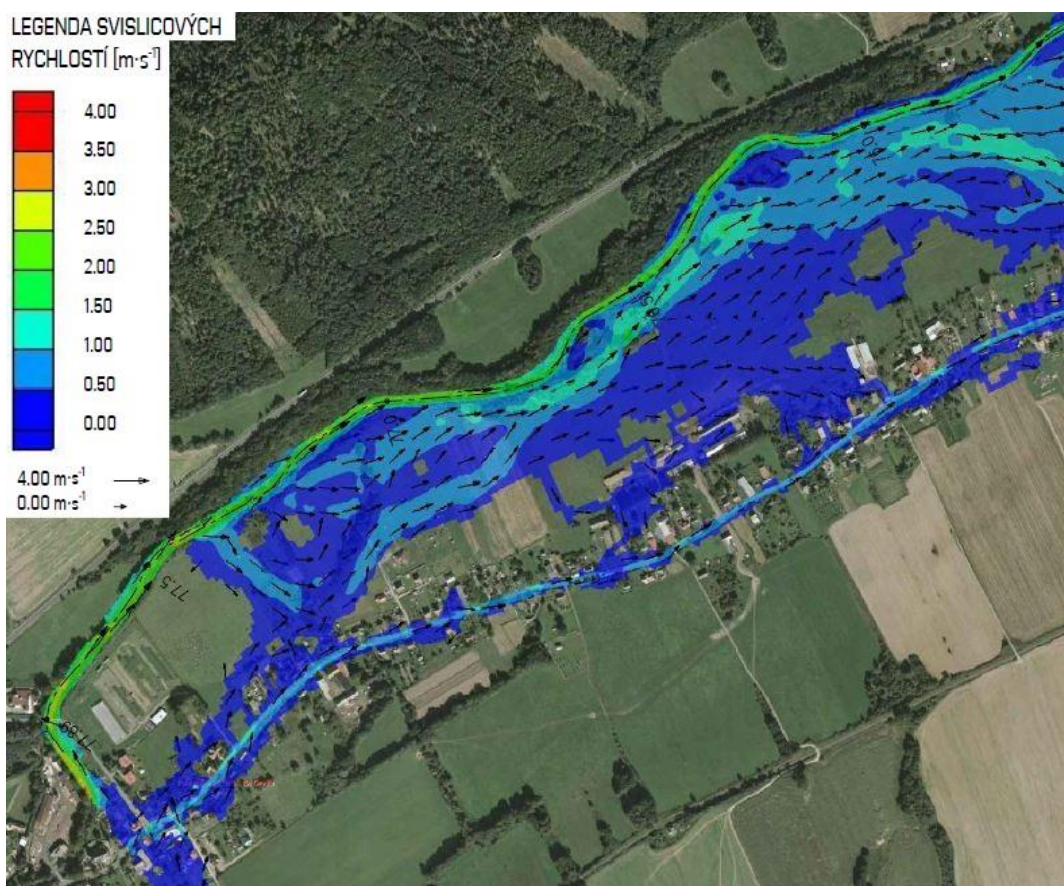
Obr. 7.7 SS_VDNH, úroveň hladiny, horní část úseku

$0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. V ploše se nachází vyvýšeniny terénu, které voda obtéká (Obr. 7.9). Mimo tyto plochy jsou hloubky $0,2 \text{ m}$ až $0,6 \text{ m}$. Ve vzdálenosti 20 m až 50 m od pravého břehu koryta lze v Příloze č. 2.2 upozorovat náhlé zvětšení hloubek. Tato část břehu byla pravděpodobně v minulosti zasažena vodní erozí a průběh terénu se postupně změnil. Prohlubně se vyskytují v blízkosti mrtvého ramene a níže po toku. Přes mrtvé rameno voda proudí rychlostí $0,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ o hloubce $1,8 \text{ m}$ a lze si zde všimnout, že voda se rozlévá více do šířky rychlostmi cca $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a dostává se tak k soukromým pozemkům Brantic.

Voda proudí rychlostí cca $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ k náspu komunikace III/4589 vedoucí napříč údolní nivou do obce Brantice. V prostoru před náspem je hloubka vody cca $0,9 \text{ m}$ (Obr. 7.8). Na koruně komunikace dochází vlivem snížení hladiny k přelévání rychlostmi kolem $1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Hloubka vody na komunikaci je $0,3 \text{ m}$. Odtud voda proudí směrem k meandrujícímu korytu. I v této ploše jsou viditelné změny hloubek a rychlostí vlivem nerovnosti povrchu.



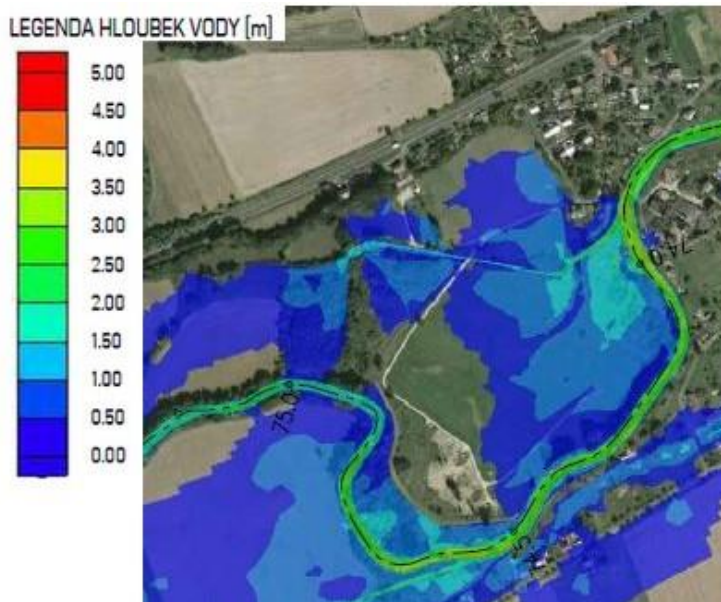
Obr. 7.8 SS_VDNH, hloubky vody, násep komunikace



Obr. 7.9 SS_VDNH, rychlostní pole, inundační území

Rychlosti a hloubky v samotném korytě Opavy jsou po délce proměnné. Střídají se úseky s pomalými a rychlými proudy. V místě křížení s mostním profilem v ř. km 75,4 voda proudí rychlostí $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubce 1,7 m. V korytě pod tímto profilem voda nevybřežuje. K vybřežení dochází až v místě pravotočivého oblouku ř. km 75,0, kde je hloubka vody 1,7 m a zvýšená rychlost $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Proudění vody na levém břehu zde zastavuje příčná ochranná hráz. Voda kolem ní protéká v levém závláči a pokračuje podél Jeleního potoka, který se zaústí do koryta Opavy v prostoru nad lávkou. Níže po toku se voda vylévá z meandrujícího koryta do obou stran. Hloubka vody v korytě při rychlostech kolem $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je 2,7 m, místy až 3 m. Rozsah levého rozlivu je dán ochrannou hrází. Mezi levobřežní ochrannou hrází a korytem Opavy jsou tvořeny prohlubně s hloubkami vody cca 1,4 m, v okolním prostoru je hloubka 0,8 m. Na pravém břehu je přelévána ochranná hráz v délce cca 100 m. Poté voda proudí v prostoru za touto hrází a zaplavuje tak část obce Kostelec. V prostoru ostruhy jsou hloubky vody cca 1 m, dochází zde k zaústění pravostranného přítoku do koryta Opavy.

K výraznému zvýšení rychlostí dochází na konci levotočivého oblouku meandrujícího toku (ř. km 74,5). Voda zde proudí rychlostí $3,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubkách větších než 3,5 m. V daném profilu dochází k levostrannému vybřežení. Tyto hodnoty nasvědčují tomu, že koryto je v tomto úseku zahloubeno. Snižujícími rychlostmi voda proudí až k profilu zaústění Jeleního potoka. Proud je zde usměrněn ochrannou hrází, nacházející se na levém břehu potoka. Pod lávkou pro pěší se koryto stáčí pravostranným obloukem, ve kterém dochází opět k nárůstům rychlostí v nárazovém břehu. V úseku ř. km 73,75 až 74,50 není pravobřežní hráz přelévána, avšak pod tímto úsekem dochází k jejímu přelití.



Obr. 7.10 SS_VDNH, hloubky vody, dolní část úseku

Zaplavení domů v obci Brantice se týká spíše horní části zájmového úseku, kde voda stéká na soukromé pozemky z místní komunikace. Zde je zaplaveno 45 domů hloubkami do 1 m. Více zaplavených domů je poblíž křižovatky ze silnice III/4589. Tam voda sahá k 88 domům.

Na komunikaci vedoucí skrz obec Brantice jsou hloubky vody zpočátku 0,6 m, postupně se snižují na 0,3 m. K zaplavení domů dochází stékáním vody z komunikace. ZÁTOR – AGROZAT, s. r. o. je při daném průtoku také postižen vodou. Podél komunikace vede odvodňovací příkop, ve kterém hloubky vody dosahují více než 1,5 m.

V obci Kostelec voda zasahuje k 50 nemovitostem. Hloubky vody zde dosahují hodnot až 1,2 m. Zahrady a domy podél pravobřežní ochranné hráže po ř. km 73,7 nejsou zaplaveny. Hráz je při tomto průtoku dostatečně vysoká.

7.3 Návrhový stav opatření

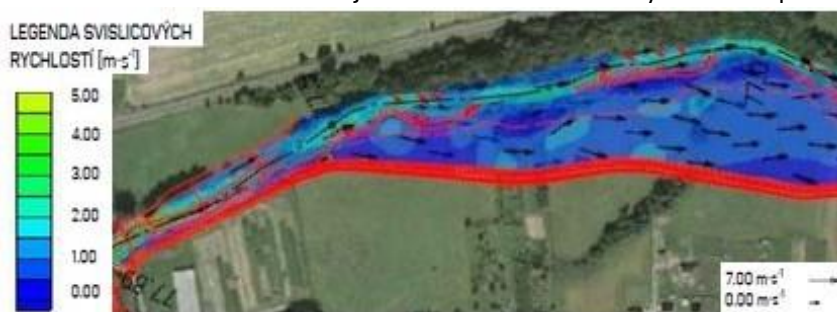
Na základě obdržení podkladů byl realizován výpočet stavu s navrhovanými opatřeními pro průtok $Q_{100n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledky mají prokázat, zda jsou navrhovaná opatření účinná během povodní a jaký vliv mají na proudění daným úsekem. Pro lepší představivost jsou mapy doplněny o konstrukční obrysy navrhovaných opatření. Informace o rozsahu legend jednotlivých příloh jsou obsahem Tab. 7.4.

Tab. 7.4 NS, informace o přílohách

Č. přílohy	Obsah	Rozsah hodnot v legendě		Velikost zobrazovaného intervalu
		Min.	Max.	
3.1	Mapa úrovní hladin	325,00 m n. m.	346,00 m n. m.	1,5 m
3.2	Mapa hloubek vody	0,0 m	5,0 m	1,5 m
3.3	Mapa svislicových rychlostí	0,0 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	7,0 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1,0 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Z mapových výstupů je patrné, že až po ř. km 75,6 je voda odváděna rozšiřujícím se ohraničeným prostorem inundačního území. Z levé strany je prostor ohraničen poměrně strmým břehem s asfaltovou komunikací I/45 na vrcholu, která není nijak ohrožena záplavou. Pravá strana je ohraničena navrhovanou ochrannou zemní hrází. V navazujících úsecích je vodě umožněn levostranný rozliv, kde se nepočítá s velkými škodami. Přítomností pravobřežní ochranné hráze se tak poměrně významně zmenší zaplavený prostor a hlavně nedojde k ohrožení obyvatel obce Brantice.

Mostním profilem v Branticích v ř. km 77,89 voda proudí rychlostí $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ o hloubce 3,4 m. Úroveň hladiny 344,36 m n. m. ani v tomto stavu nedosahuje úrovně dolní mostovky a mostní profil tak není zahlcen vodou. Koryto vodního toku je pod mostem upraveno na složený lichoběžníkový profil. Kynetou voda proudí rychlostí klesající z $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ o hloubce vody cca 3,4 m. Na bermách voda proudí stejnou

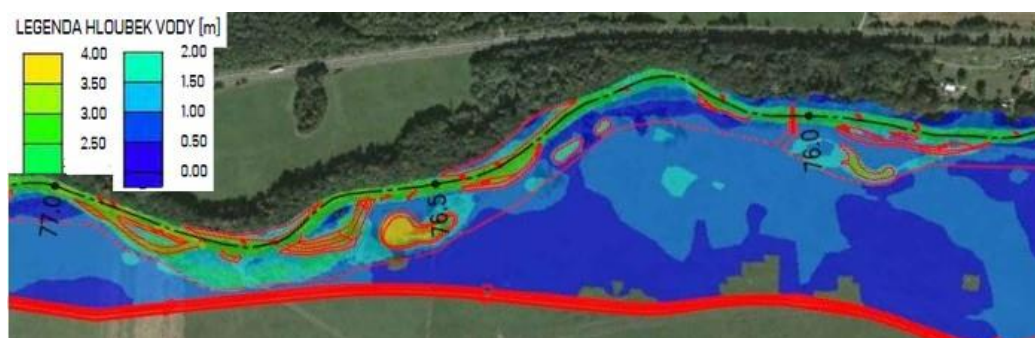


Obr. 7.11 NS, rychlostní pole, horní část úseku

rychlostí o hloubce vody kolem 2 m. V úseku pod ř. km 77,5 je navrženo pravostranné rozšíření koryta a umístění kamenných výhonů na protější stranu koryta (Obr. 7.11). Vliv výhonů na proudění lze z hlediska velikosti zaplavené oblasti zanedbat. V těchto rozšířených částech koryta voda proudí nižšími rychlostmi $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ až $1,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ oproti rychlostem v hlavní části koryta a kapacita koryta je nedostačující pro daný průtok. Voda se z koryta vylévá rychlostí cca $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a proudí podél ochranné hráze. V inundačním území jsou hloubky vody do 0,7 m, v některých místech si lze všimnout poklesu hloubky či naopak jejího zvýšení. Hráz má po celé délce proměnnou výšku od 0,6 m do 1,2 m.

Proudění v korytě Opavy se po délce mění. Střídají se úseky pomalejšího proudění s rychlejším. Větší rychlosti jsou patrné v nárazových březích. V ř.km 76,99 voda vtéká do paralelního ramene (viz. Obr. 7.12) rychlostí $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, po délce ramene se rychlost snižuje a při výtoku zpět do Opavy je její hodnota $1,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Šířka ramene je přibližně o polovinu menší než šířka koryta Opavy, hloubky v něm dosahují hodnot cca 2,6 m. Poměrně velké hloubky nastávají podél levotočivého oblouku v prostoru pod tímto ramenem. Ve vzdálenosti 10 m pod vyústěním z ramene dochází k nátoku do mrtvého ramene. Terén v prostoru nátokové a odtokové části mrtvého ramene je snížen. Voda do snížené nátokové proudí rychlostí $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, hloubka za přelivnou hranou je cca 2 m. K nejhlubší části mrtvého ramene, kde je hloubka cca 2,5 m, voda přitéká rychlostí $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zpět do koryta se voda vrací rychlostí $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Objemově největší navržená tůň se nachází v blízkosti mrtvého ramene (Obr. 7.12). Hloubka vody zde dosahuje hodnot kolem 4 m. Úroveň hladiny není ovlivněna, tůň je zcela zatopena. Další dvě tůně, plošně podstatně menší, se nachází u ř. km 76,25. Hloubky vody jsou v nich max. 2 m.

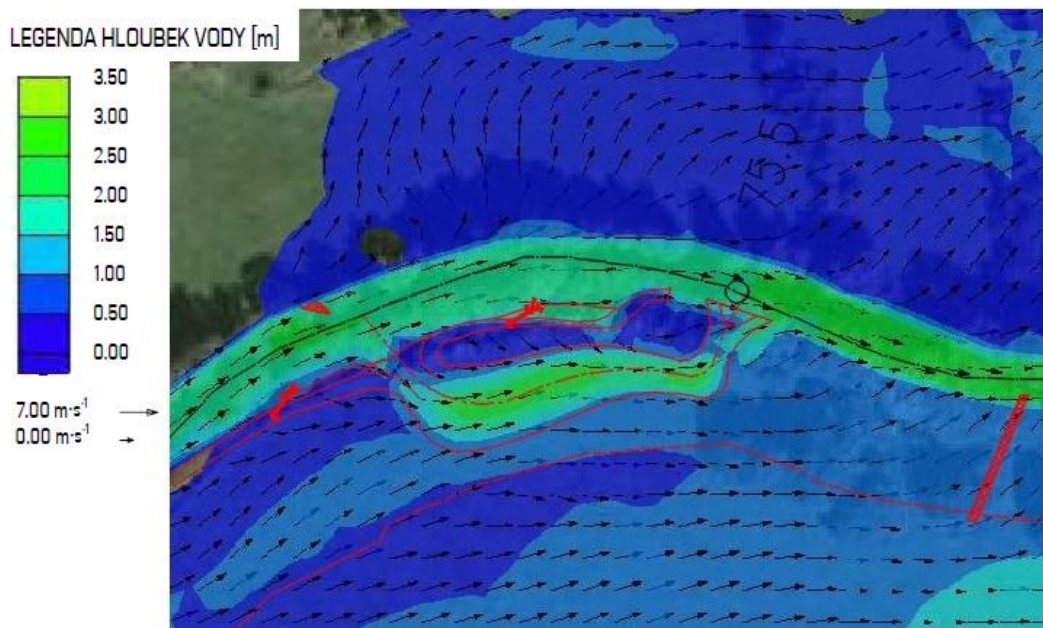


Obr. 7.12 NS, hloubky vody, revitalizovaný úsek

Štěrkové jesepty v revitalizované části úseku jsou navrženy jako přísypy břehů či vytvoření ostrůvku ve dně koryta. Hloubky vody jsou na nich menší než v samotném korytě. Jeden z jeseptů se nachází v ose koryta v podobě protáhlého ostrůvku, který je obtékán rychlostí $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubce 1,8 m. Na ostrůvku je hloubka vody poloviční. Samotnou funkci jeseptů tímto modelem nelze ověřit. Lze však předpokládat, že při vytvoření těchto jeseptů dojde v průběhu času k jejich změně. Část materiálu může být při zvýšených průtocích transportována a usazena v korytě níže po proudu. Vytvořený ostrov v korytě tak může nabýt podstatně jiných rozměrů a tvarů. Vliv těchto jeseptů by bylo třeba posoudit na základě splaveninového modelu.

V ř. km 75,51 je navržen obtokový bypass. Voda do něho vtéká z vlastního koryta a zároveň z příbřežní zóny, jak ukazují vektory rychlostí na Obr. 7.13. Rychlosti v bypassu nejsou velké, pohybují se kolem $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Naopak hloubka vody je v něm téměř shodná s hloubkou ve vlastním korytě a nabývá hodnoty 1,9 m. Na Obr. 7.13 je také vidět, jak se voda v tomto pravotočivém oblouku vylévá z koryta do levého břehu a proudí po něm rychlostí $0,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ směrem k náspu komunikace III/4589.

Před náspem komunikace III/4589 jdoucí napříč údolní nivou jsou patrné větší hloubky (až 1,4 m) z důvodu vzduť vody způsobené touto překážkou. Na pravém břehu voda k náspu proudí rychlostí $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, část vody stéká do koryta Opavy a protéká mostním profilem. Při levém břehu se voda z koryta naopak vylévá a proudí podél náspu.

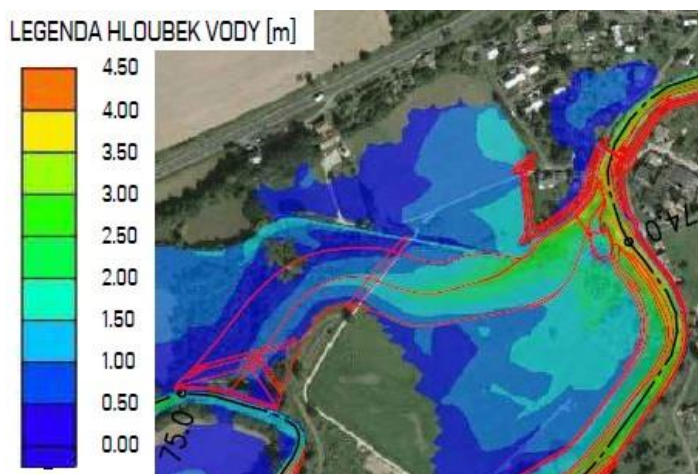


Obr. 7.13 NS, hloubky vody a vektory rychlostí, bypass ř. km 75,51

Na pravém břehu je násep komunikace přeléván rychlostí proudu $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubce vody $0,5 \text{ m}$. Za korunou komunikace voda proudí přes inundační území rychlostí $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, která se snižuje postupným zvětšováním rozlivu vlivem stáčení ochranné hráze doprava. Přes ornou půdu se voda dostává až k meandrujícímu korytu, do kterého se vlévá. Levým inundačním územím proudí voda, která se přelila přes komunikaci a částečně i rozliv z koryta pod mostním profilem v ř. km 75,4. Voda o hloubce cca $0,6 \text{ m}$ proudí tímto územím až k odlehčovacímu průlehu.

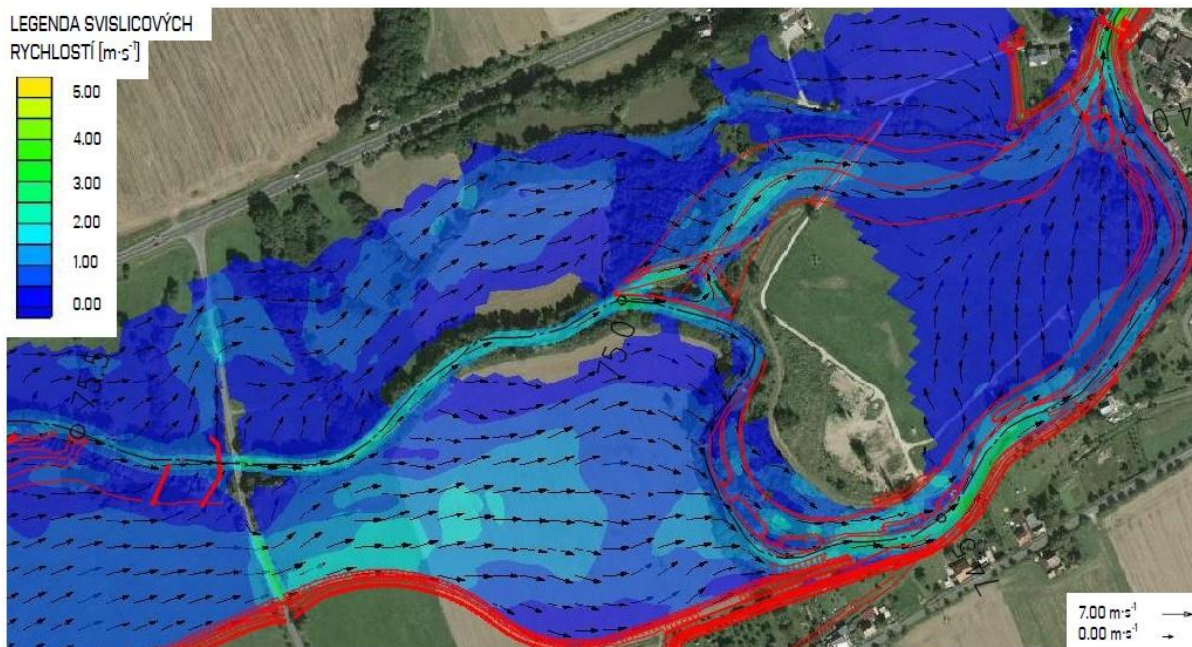
Přelivná hrana odlehčovacího průlehu je přelévána vodou o rychlosti $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a hloubce $0,6 \text{ m}$. Dle Obr. 7.15 se voda do průlehu vlévá zejména v horní části přelivné hrany, kde rychlosti dosahují až $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jako v korytě Opavy. Soustředění nátoky do průlehu v levé části a současně vyšší hodnota součinitele drsnosti způsobuje, že středová část balvanitého skluzu je vysušena. Největších rychlostí ($1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) je dosaženo v pravotočivém oblouku průlehu, kde je hloubka vody cca 1 m . Protože je průtočný průřez průlehu navržen jako trojúhelníkový, největší hloubky se vyskytují v jeho ose a po délce se zvětšují. V prostoru vyústění vody z průlehu do koryta Opavy dosahují hloubky až 3 m . Část průtoku protéká i mimo tento průleh, zejména po jeho levém břehu. Zaplavení levobřežní zástavby v prostoru nad vyústěním Jeleního potoka a odlehčovacího průlehu zabraňuje navržená příčná hráz.

V levotočivém oblouku meandrujícího koryta je navržena levobřežní berma (Obr. 7.15). Kynetou voda proudí zpočátku rychlostí $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, níže až $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubce vody větší než $2,5 \text{ m}$. Bermou voda proudí rychlostí $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s menšími hloubkami kolem $0,8 \text{ m}$. Ani složené lichoběžníkové koryto není dostatečně



Obr. 7.14 NS, hloubky vody, odlehčovací průleh

kapacitní a z bermy se voda vylévá do prostoru, který je ohraničen ochrannou hrází. Zde hloubka vody dosahuje už jen 0,4 m. Upraveným korytem, na pravém břehu ohrázaným, protéká voda níže a v ř. km 74,5 dochází k jejímu levostrannému rozlivu. Přes jímací území se voda dostává do odlehčovacího průlehu a odtud se vrací zpět do koryta Opavy. Hloubky vody jsou zde od 0,5 m do 1,7 m.



Obr. 7.15 NS, rychlostní pole, meandrující koryto Opavy

Pravobřežní ochranná hráz a nově navržená ochranná zídka v délce 155 m splňují dostatečnou ochranu zástavby obce Kostelec. V místě vyústění průlehu a Jeleního potoka voda proudí rychlostí $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubce 3,8 m. Na levém břehu se nachází ochranná hráz, která s již zmiňovanou příčnou hrází v půdoryse tvoří tvar písmene „V“. V profilu, kde se nachází lávka pro pěší, se voda vylévá do levého břehu a dostává se do prostoru za ochrannou hráz, kde zaplavuje 7 domů. U těchto domů úroveň hladiny dosahuje 329,7 m n. m. a hloubka vody 0,5 m. Z levého břehu se voda vrací zpět do pravotočivého oblouku koryta Opavy a proudí směr Krnov rychlostí $2,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o hloubce 2,5 m a více. K mírnému vybřežení vody z koryta zde dochází jen na levém břehu.

7.4 Porovnání SS_VDNH – SS

Jako první je porovnáván stávající stav s VD Nové Heřminovy a stávající stav bez úprav. První zmíněný má vzhledem k nižší hodnotě návrhového průtoku ($Q_{100n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) menší rozliv a tím i menší hloubky vody. Rozliv vody je o $0,26 \text{ km}^2$ menší než rozliv při SS, tento rozdíl je patrný zejména v horní části úseku. Snížení hodnoty stoletého průtoku má pozitivní vliv na rozsah záplavového území, avšak jeho hodnota je stále tak vysoká, že vzniklé škody nelze přehlížet a bez PPO není toto území dostatečně chráněno. Rozdílové mapy ukazují, o kolik se sledované veličiny změní oproti SS. Přehled jednotlivých příloh a rozsah hodnot jejich legend je v Tab. 7.5.

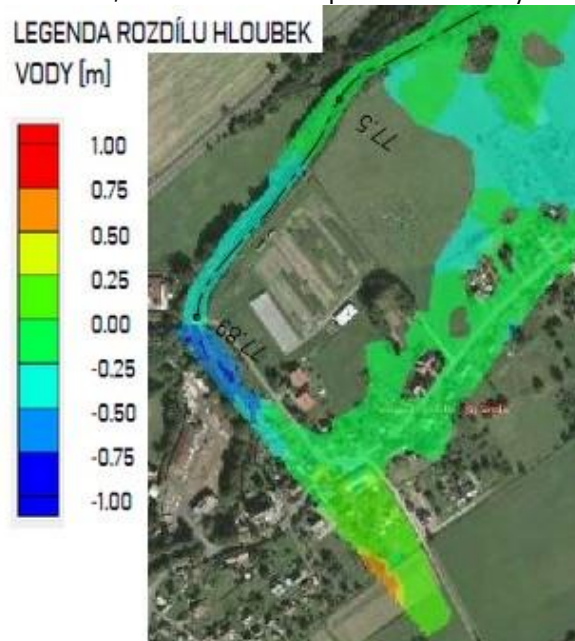
Tab. 7.5 Porovnání SS_VDNH – SS, informace o přílohách

Č. přílohy	Obsah	Rozsah hodnot v legendě		Velikost zobrazovaného intervalu
		Min.	Max.	
5.1	Mapa rozdílu úrovní hladin	-1,0 m	1,0 m	0,25 m
5.2	Mapa rozdílu hloubek vody	-1,0 m	1,0 m	0,25 m
5.3	Mapa rozdílu svislicových rychlostí	$-1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Ze všech rozdílových map je zřejmé, že téměř celá oblast je v rozsahu záporných hodnot. To znamená, že zahrnutím VD Nové Heřminovy došlo při návrhovém průtoku Q_{100n} k poklesu úrovní hladin a snížení svislicových rychlostí. Hloubky vody klesly průměrně o $0,2 \text{ m}$, místy došlo k výraznějším poklesům. Výraznější pokles je v horní části úseku, zejména v části nad mostem, kde je rozdíl hloubek až $-0,7 \text{ m}$ a v úseku pod mostem v délce cca 225 m je rozdíl $-0,35 \text{ m}$ (Obr. 7.16). Rychlosti jsou zde také nižší, avšak při levém břehu jsou vyšší o $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Naopak větší hloubky jsou v části obce Brantice. Voda zde proudí rychlostí až o $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ větší než při SS a hloubky vody jsou větší o $0,1 \text{ m}$ až $0,38 \text{ m}$.

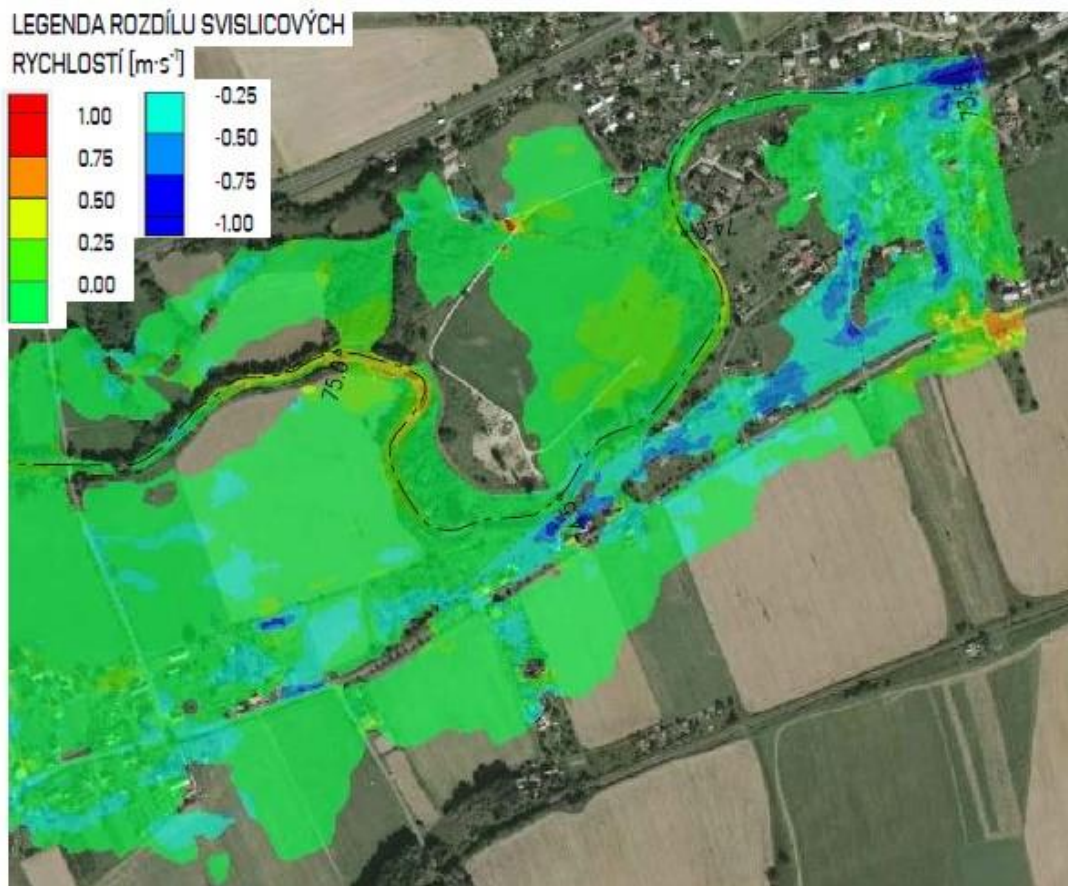
K rozlivu z koryta Opavy dochází po delší vzdálenosti, lesní školka BAROZA, s. r. o. není zaplavena (Obr. 7.16). Voda se do pravého břehu vylévá rychlostmi o $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nižšími. Pokles hloubek je zde o $0,25 \text{ m}$. Rozdíly v hloubce vody se směrem k zástavbě obce zvětšují až na hodnotu $-0,33 \text{ m}$. V pravotočivém oblouku ř. km $77,0$ jsou patrné o $0,11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ větší rychlosti při poklesu úrovní hladin. Korytem Opavy poté voda proudí nižšími rychlostmi a s menšími hloubkami.

V horní části Brantic je zatopeno 45 domů oproti 83 při SS. Úroveň hladiny je u nich snížena o $0,15 \text{ m}$ a voda kolem nich proudí rychlostmi menšími o $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Údolní nivou,



Obr. 7.16 SS_VDNH – SS, rozdíl hloubek, horní část úseku

kde jsou zatopeny zvláště louky a zahrady proudí voda soustředěným odtokem podél Opavy rychlostmi o $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ menšími. Mimo tuto soustředěnou trasu jsou rozdíly rychlostí menší ($-0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $-0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).



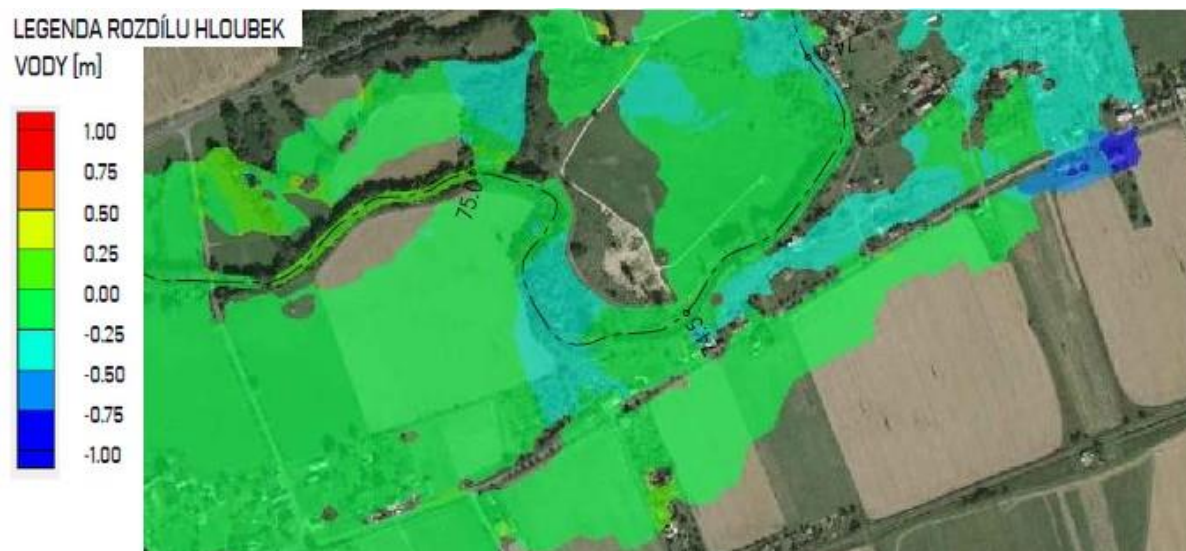
Obr. 7.17 SS_VDNH – SS, rozdíl rychlostí, dolní část úseku

Proudění pod mostem v ř. km 75,4 se mírně liší. Hloubky vody se postupně zvětšují (až o $0,2 \text{ m}$) a k rozlivu dochází až v ř. km 75,0. Po vylití vody z koryta je patrné mírné zvětšení rychlostí. Taktéž rychlosti hlavně při levém břehu jsou vyšší, cca o $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V pravotočivém oblouku meandrujícího koryta dosahuje rozdíl rychlostí hodnot $0,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v nárazové části oblouku až $0,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pokles hladiny je zde pouze několik centimetrů. Příčná ochranná hráz nacházející se na levém břehu je obtékána nižšími rychlostmi a hloubky vody podél hráze klesly o $0,3 \text{ m}$ (Obr. 7.18).

Vyšší rychlosti proudění nastávají v jímacím prostoru na levém břehu v úseku pod ř. km 74,5. V úseku balvanitého skluzu nedochází k přelití pravobřežní hráze a voda tak proudí vyššími rychlostmi v samotném korytě.

Rozsah zátopy na okraji intravilánu Kostelce je menší, voda zaplavuje o 12 domů méně a mimo zaplavenou oblast se nachází i stavební firma RAKORD, s. r. o. Úroveň hladiny u zatopených domů se snížila o $0,25 \text{ m}$. Voda k nim proudí rychlostmi o $0,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ menšími. Lokálně, zejména na komunikaci, jsou rychlosti proudění menší až o $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v důsledku menšího průtoku. Výrazný pokles hloubek vody je patrný v dolní části modelu v prostoru za místní komunikací. To lze zdůvodnit nižšími rychlostmi proudění v této části a poměrně vzdálenější poloze vůči vodnímu zdroji.

Celkem významně poklesl průtok vody po komunikaci vedoucí skrz obec Brantice. Hloubky vody jsou zde o $0,3 \text{ m}$ až $0,45 \text{ m}$ menší, kdy při SS dosahovali $0,6 \text{ m}$.



Obr. 7.18 SS_VDNH – SS, rozdíl hloubek, dolní část úseku

7.5 Porovnání NS – SS

V této kapitole jsou porovnávány dva stavy s různými hodnotami průtoků – NS s $Q_{100n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a SS s $Q_{100} = 221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Porovnání těchto stavů ukazuje, jaké změny v proudění a rozsahu záplavy nastanou při realizaci PPO. Zásadní a zároveň cílový je rozdíl rozlivů vody. Rozliv vody při simulaci NS je plošně o $0,88 \text{ km}^2$ menší než při SS. Žádný z domů v Branticích není zasažen povodní, v Kostelci se voda dostává k 8 domům v prostoru levého břehu pod lávkou pro pěší. Přehled jednotlivých příloh a rozsah hodnot jejich legend je v Tab. 7.6.

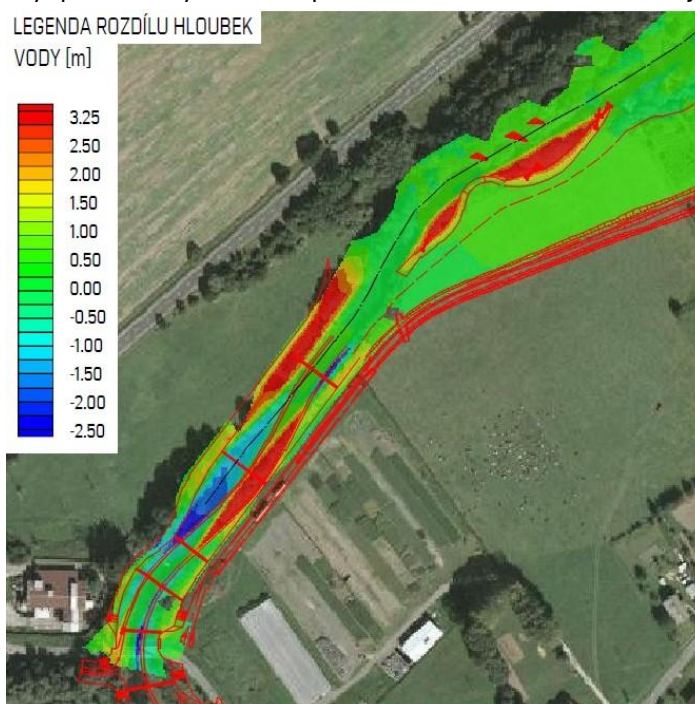
Tab. 7.6 Porovnání NS – SS, informace o přílohách

Č. přílohy	Obsah	Rozsah hodnot v legendě		Velikost zobrazovaného intervalu
		Min.	Max.	
6.1	Mapa rozdílu úrovní hladin	-1,25 m	1,25 m	0,25 m
6.2	Mapa rozdílu hloubek vody	-2,50 m	3,25 m	0,25 m
6.3	Mapa rozdílu svislicových rychlostí	$-2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Porovnáním všech třech sledovaných veličin (Z_h , h a v) je dokázáno, že navržená PPO mají zásadní vliv na změnu proudění v daném území. V ploše zájmového úseku jsou patrné střídavé změny úrovně hladiny. Hlavním důvodem je přítomnost navržené ochranné hráze na pravém břehu a nižší hodnota stoletého průtoku.

V horní části úseku pod silničním mostem v Branticích, kde začínají navrhovaná opatření úpravou koryta na složený lichoběžníkový profil a výstavbou pravobřežní ochranné hráze je prokázána změna proudění. Kynetou při NS voda proudí nižšími rychlostmi (asi o $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) z důvodu zvětšení průtočného průřezu. Hloubky v kynetě jsou o $0,3 \text{ m}$ menší (Obr. 7.19). Naopak snížením terénu za účelem vytvoření berem dochází k výraznému zvětšení hloubek o $2,5 \text{ m}$ a rychlostí, které jsou o $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ větší než při SS.

Pod ř. km 77,5 je navrženo pravostranné rozšíření koryta. Úpravou terénu dochází ke vzniku prostoru, kudy voda může proudit rychlostmi nižšími o $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ než při SS. Rozdíl hloubek je zde kolem $2,2 \text{ m}$ a je způsobený odtěžením materiálu (Obr. 7.19).



Obr. 7.19 NS – SS, rozdíl hloubek, úprava koryta

Prohrábkou paralelního ramene v ř. km 77,0 dochází k ovlivnění proudění. Je zde patrné mírné zvětšení rychlostí hlavně v nátokové části a výrazné zvětšení hloubek vody (Obr. 7.20). Rozdělením průtoku do dvou směrů dochází ke zmenšení rychlostí o $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v hlavním korytě Opavy (Obr. 7.21).



Obr. 7.20 NS – SS, rozdíl hloubek, úsek revitalizace

Zprůtočnění mrtvého ramene Opavy má za následek zvětšení rychlostí o $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ve snížené nátokové části a následně i v samotném rameni, přes které se voda vrací zpět do koryta Opavy. Tímto rozdělením průtoku dochází k poklesu rychlostí v hlavním korytě, hloubky jsou zde zachovány. Ve volném prostoru mezi ramenem a ochrannou hrází je patrný pokles úrovně hladiny, který lze zaznamenat téměř až po ř. km 75,5. Největší z navržených tůní představuje rozdíl hloubek až 3 m (Obr. 7.20). V tůni i její blízkosti dochází ke snížení rychlostí o $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V prostoru před dalšími dvěma navrhovanými tůněmi, které jsou podstatně menší, je vidět kladný rozdíl rychlostí. Snížením terénu k nim voda proudí rychleji. Rozdíl hloubek vody v tůních je dán jejich hloubkami a návrhovým průtokem.



Obr. 7.21 NS – SS, rozdíl rychlostí, úsek revitalizace

Další navrhovaná pravostranná rozšíření koryta včetně vytvoření šterkových lavic vytváří rozdíly v proudění. V rozšířených částech koryta jsou patrné větší hloubky vody (cca $0,9 \text{ m}$) oproti hloubkám SS. Kvůli zvětšení kapacity koryta je zde nárůst rychlostí, naopak v ose původního koryta je vidět jejich pokles o $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Před bypassem v ř. km 75,6 je patrné zvýšení rychlostí při pravém břehu. V samotném bypassu je rozdíl rychlostí zanedbatelně malý. Naopak hloubky vody v rozšířeném korytě i bypassu jsou větší o $1,3 \text{ m}$ až 2 m . V inundačním prostoru jsou rychlosti proudění průměrně nižší o $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Ke zvýšení úrovně hladiny dochází v pravém inundačním území v prostoru kolem náspu komunikace III/4589. Rozdíl v úrovni hladiny je před náspem $0,3 \text{ m}$ a za náspem $0,4 \text{ m}$. Navrhovaná ochranná hráz, křižující tuto komunikaci, způsobuje zmenšení šířky průtočného průřezu inundačním územím. Na koruně komunikace jsou rychlosti až o $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ větší než při SS, snižující se rychlostí voda odtéká níže územím k meandrujícímu korytu. V místě, kde se ochranná hráz vzdaluje od osy koryta Opavy a stáčí se doprava, je vidět výrazný rozdíl v rychlostech. Rychlosti jsou zde o $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

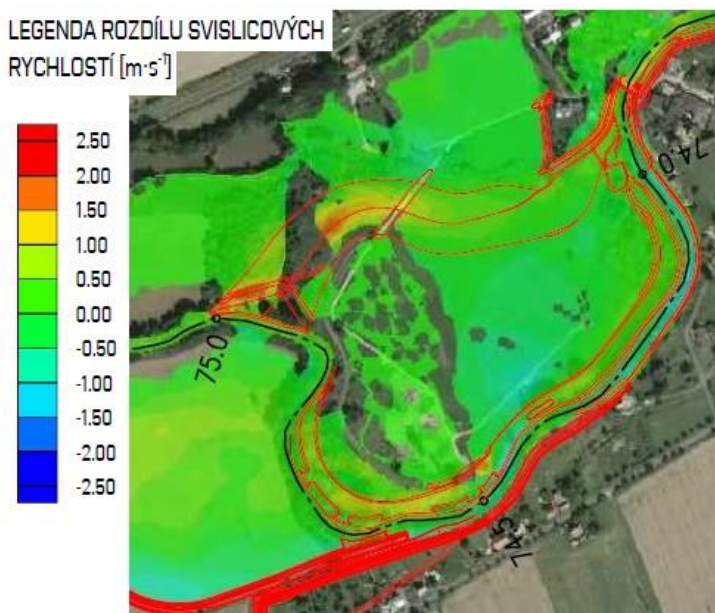
menší. Směrem k meandrujícímu korytu jsou hloubky vody o 0,4 m menší. Do koryta se však voda z pravého břehu vlévá rychleji, a to z důvodu ohrázování území a zamezení tak širšímu rozlivu.

Odtěžením příčné hráze v levém inundačním území dochází ke snížení hloubek vody o 0,7 m. Tímto prostorem vede trasa odlehčovacího průlehu. Větší hloubky i rychlosti jsou na přelivné ploše průlehu a následně i po celé jeho délce. Hloubky vody v průlehu jsou o 1 m větší než při SS. Největšího přírůstku rychlostí $1,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je dosaženo na přelivné ploše a v místě, kde se osa průlehu stáčí doprava. Navrhovaný odlehčovací průleh způsobuje výrazné snížení úrovně hladiny, které je vidět na Obr. 7.22.



Obr. 7.22 NS – SS, rozdíl úrovní hladin, odlehčovací průleh

Návrhem levobřežní bermy v meandrujícím korytě nastává rozdíl hloubek. V kynetě koryta dochází oproti SS k poklesu hloubky vody asi o 0,6 m, protože je vodě umožněno proudění navrženou bermou. Snížením terénu a vytvořením tak bermy dochází ke zrychlení proudu vody o $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Hloubky vody na bermě jsou nižší asi o 0,1 m po ř. km 74,5. To je následkem oddělení části průtoku přes odlehčovací průleh. Poté bermou proudí větší množství vody a rozdíl hloubek je 0,8 m. Všimnout si lze i úseku s rozšířením koryta na levém břehu, kde je rozdíl hloubek místy větší než 2 m. V prostoru vyústění odlehčovacího průlehu do koryta je patrné zvýšení rychlostí cca o $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ke snížení hloubek o 0,4 m dochází také v prostoru za navrženou ochrannou levobřežní hrází. V prostoru pod lávkou pro pěší jsou hloubky vody nižší než při SS, ale podstatně většími rychlostmi voda odtéká do nižších poloh.



Obr. 7.23 NS – SS, rozdíl rychlostí, odlehčovací průleh

V prostoru pod lávkou pro pěší jsou hloubky vody nižší než při SS, ale podstatně většími rychlostmi voda odtéká do nižších poloh.

7.6 Porovnání NS – SS_VDNH

Porovnávány jsou dva stavy se stejným průtokem $Q_{100,n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Toto porovnání má poskytnout informace o změnách sledovaných veličin a přínosu navrhovaných opatření. Jak již bylo popsáno v kapitole 7.2, pouhá transformace stoletého průtoku VD Nové Heřminovy nezajistí požadovanou ochranu obcí Brantice a Kostelec. Zásadním rozdílem při uvažování navrhovaných PPO je omezení rozlivu vody. Rozdíl rozlivů je $0,62 \text{ km}^2$, kdy tato plocha zahrnuje část intravilánu Brantic a Kostelce. Přehled jednotlivých příloh a rozsah hodnot jejich legend je v Tab. 7.7.

Tab. 7.7 Porovnání NS – SS_VDNH, informace o přílohách

Č. přílohy	Obsah	Rozsah hodnot v legendě		Velikost zobrazovaného intervalu
		Min.	Max.	
7.1	Mapa rozdílu úrovní hladin	-1,25 m	1,25 m	0,25 m
7.2	Mapa rozdílu hloubek vody	-2,50 m	3,25 m	0,25 m
7.3	Mapa rozdílu svislicových rychlostí	$-2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

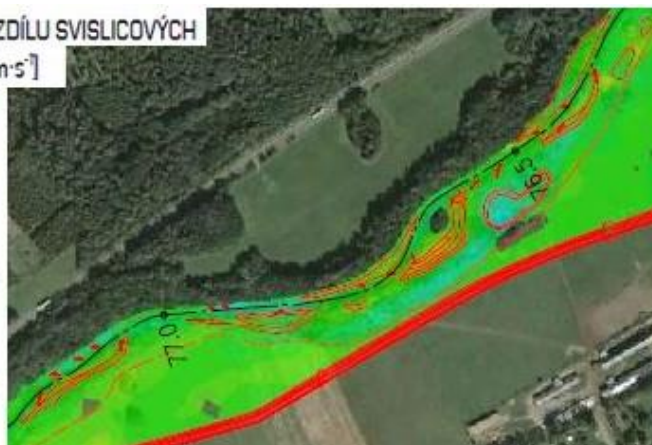
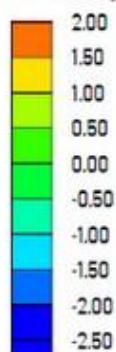
I přesto, že jsou porovnávána proudění o stejných průtocích $Q_{100,n}$ k rozdílům ve sledovaných veličinách dochází na téměř celém zájmovém území. Plochy bez barevné výplně představují místa, kudy voda neproudí minimálně při jednom ze stavů. Dle příloh je oprávněné tvrdit, že navrhovaná PPO mají zásadní vliv na charakter proudění v daném území. Hodnoty rozdílů jsou v tomto porovnání větší než při porovnání NS – SS, protože výsledné hodnoty sledovaných veličin u SS_VDNH jsou menší než při SS (snížením hodnoty průtoku).

Při SS_VDNH je koryto Opavy v úseku pod mostem v Branticích dostatečně kapacitní. Úprava koryta na složený lichoběžníkový průřez způsobuje změny proudění. V kynetě proudí voda menšími rychlostmi, asi o $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a bermami proudí téměř shodnými rychlostmi. Na bermách je až o 2,6 m větší hloubka. K rozlivu do pravého břehu při SS_VDNH dochází až pod ř. km 77,5. V místě počátku rozlivu je navrženo rozšíření koryta do pravého břehu, kde dochází k rozdílu hloubek 2,5 m. Rychlosti jsou zde sníženy o $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Voda sahající až k ochranné hrázi má hloubku o 0,5 m větší než při rozlivu bez překážky.

Korytem proudí voda o stejných rychlostech, mění se až v úseku dalšího navrhovaného rozšíření. Rychlosti jsou nižší o $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, v rozšířených částech koryta jsou naopak vyšší rychlosti. V navrhovaném paralelním rameni v ř. km 77,0 je rozdíl hloubek 2,2 m. Stávajícím korytem Opavy proudí voda nižšími rychlostmi, v paralelním rameni jsou zpočátku vyšší o $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, poté se rozdíl ruší. Mezi ochrannou hrází a korytem vodního toku je patrný pokles rychlostí o $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ještě větších rozdílů v rychlostech je dosaženo v navrhované tůni.

Oproti SS_VDNH proudí voda rychleji do mrtvého ramene. Ve snížené nátokové části je rozdíl $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v nejhlubší části ramene pak $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Snížením terénu nátokové části do ramene proudí více vody, rozdíl hloubek je kolem 1 m. Vyhroubením neprůtočné tůně v prostoru pod mrtvým ramenem nabývá hodnota rozdílu hloubek 3,1 m. V dalších dvou tůních je rozdíl hloubek jen 1,3 m. Okolo těchto tůní je naopak viditelný pokles hloubek, byť jen o 0,1 m, který

LEGENDA ROZDÍLU SVISLICOVÝCH
RYCHLOSTÍ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]



Obr. 7.24 NS – SS_VDNH, rozdíl rychlostí, revitalizovaný úsek

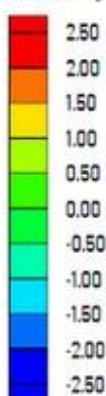
je způsobený rychlejším vtokem do tůní. Přítomností ochranné hráze se poměrně hodně zužuje průtočný průřez. Úroveň hladiny se zvyšuje, v nejužším profilu mezi paralelním a mrtvým ramenem je rozdíl 0,4 m. Vtokem do mrtvého ramene se úroveň snižuje asi o 0,2 m.

V ploše inundace na pravém břehu jsou hloubky vody jen o trochu větší, max. o 0,1 m. Blíže vodnímu toku jsou rychlosti větší o $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, podél navrhované hráze se rozdíly zvětšují o hodnotu $0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Voda tak celkově rychleji odtéká daným územím.

Pokles rychlostí v korytě Opavy je patrný v úseku, kde je navržen bypass (ř. km 75,6). Hlavní koryto je odlehčeno a voda jím protéká rychlostí o $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ menší (Obr. 7.25). Rozdíl hloubek v bypassu je 1,7 m, odbočením části proudu doprava je znatelný pokles rychlostí i hloubek u levobřežního rozlivu.

Vlivem vzduť vody ochrannou hrází jsou před náspem komunikace rozdíly hladiny kolem 0,3 m. Přes komunikaci a v prostoru pod ní voda proudí podstatně rychleji z důvodu menší průtočné šířky (Obr. 7.25). Rychleji se tak dostává k meandrujícímu korytu Opavy. Menší rychlosti, asi o $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, nastávají podél ochranné hráze, která je odkloněna doprava a vytváří tak větší prostor pro rozliv vody.

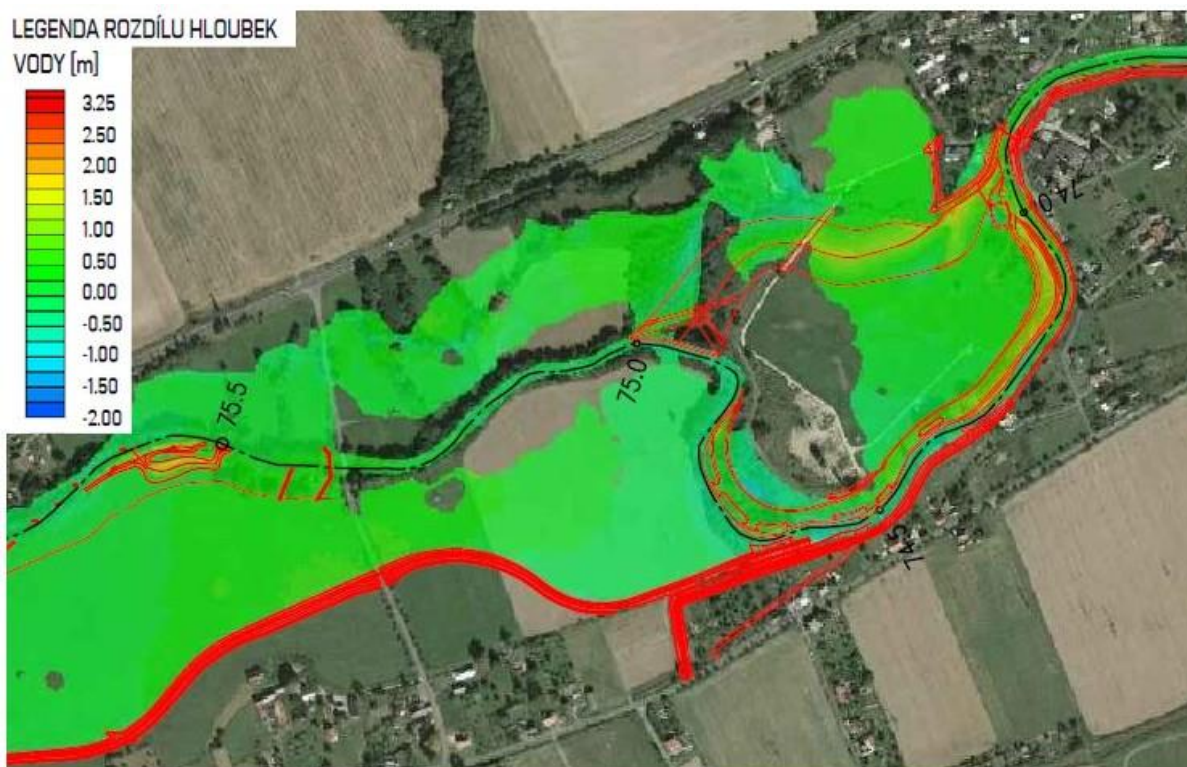
LEGENDA ROZDÍLU SVISLICOVÝCH
RYCHLOSTÍ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]



Obr. 7.25 NS – SS_VDNH, rozdíl rychlostí, bypass a násep komunikace

Podstatně více vody proudí levobřežním územím k navrhovanému odlehčovacímu průlehu. Díky tomuto odlehčení dochází k poklesu hladiny i rychlostí v úseku pod přelivem do průlehu

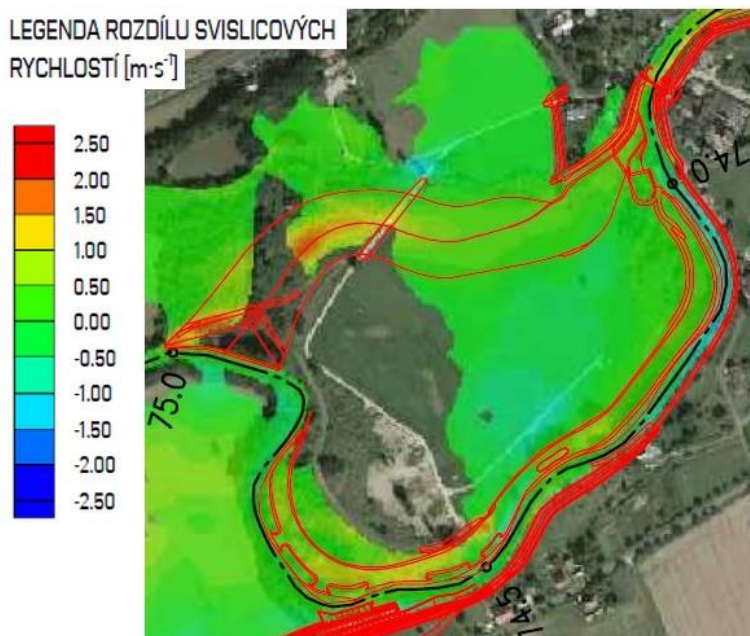
(Obr. 7.26). V korytě Opavy jsou hloubky o 0,3 m menší, na pravém břehu po vybřežení o 0,2 m menší. Ke zvětšení hloubek dochází až na navrhované bermě, kde hladina stoupá o 0,2 m. Nad bermou, v prostoru ohraničeném ochrannou hrází je naopak úbytek vody, rozdíl hloubek je 0,35 m.



Obr. 7.26 NS – SS_VDNH, rozdíl hloubek, dolní část úseku

Po celé délce průlehu je patrný nárůst rychlostí, v pravotočivém oblouku až o $1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Sváděním vody do průlehu dochází k poklesu rychlostí na levém břehu Jeleního potoka. V úseku pod ř. km 74,5 voda proudí rozšířeným korytem nižšími rychlostmi, místy až o $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Obr. 7.27). V místě rozšíření je rozdíl hloubek přes 2 m. Naopak na bermě jsou rychlosti vyšší. Z počátku je rozliv vody do levého břehu pomalejší, postupně se však zrychluje a dochází i ke zvětšení hloubek o 0,3 m.

Za ochrannou levobřežní hrází podél spodní části Jeleního potoka je vidět snížení hloubek o 0,1 m. V prostoru pod lávkou pro pěší, kde je voda odváděna téměř přímým korytem dochází k nárůstu hloubek o 0,2 m z důvodu zvýšení ochranné pravobřežní hráze.



Obr. 7.27 NS – SS_VDNH, rozdíl rychlostí, průleh a meandrující koryto

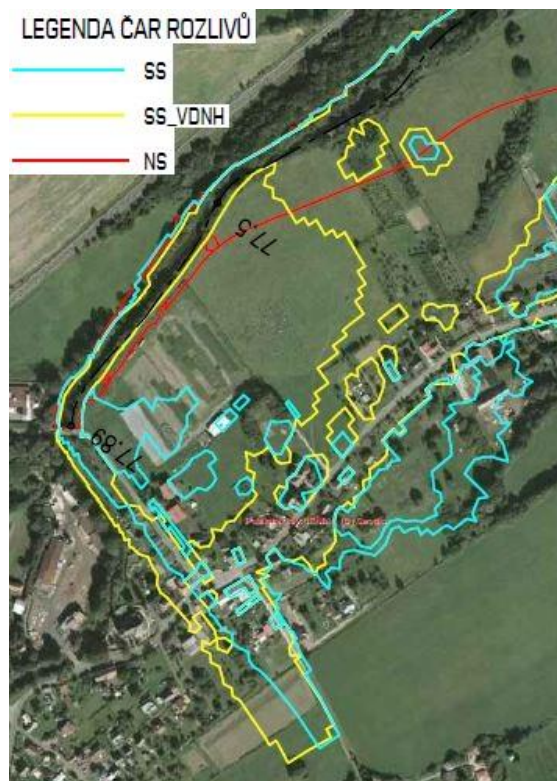
7.7 Porovnání rozlivů

Porovnání rozlivů všech třech modelovaných stavů ukazuje, jaký vliv má návrhový průtok Q_n a navrhovaná opatření na velikost rozlivu.

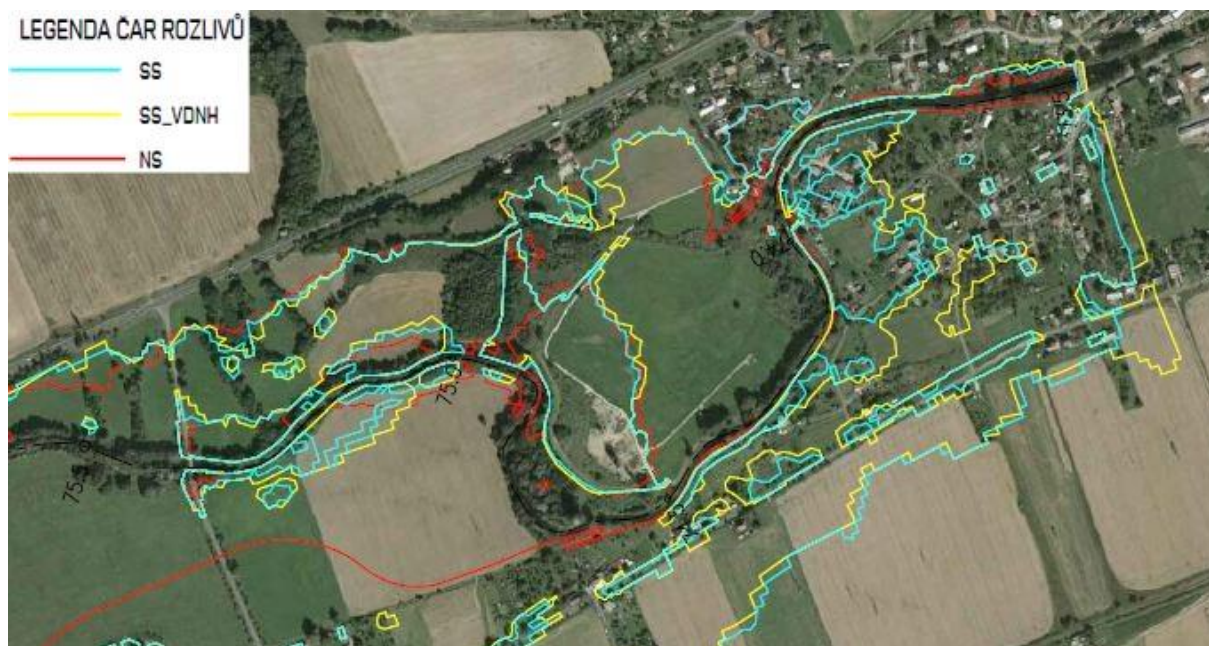
Jednotlivé hranice rozlivů byly vyexportovány z programu SMS 12.2 do formátu *.dwg programu AutoCAD. Výsledná mapa Přílohy č. 8.1 vznikla vložení jednotlivých rozlivů přes sebe na původní souřadnice a podložení ortofotomapou. V mapě jsou tedy zobrazeny tři hranice rozlivů. Polygony světle modré barvy znázorňují rozliv při stávajícím stavu, polygony žluté barvy rozliv stávajícího stavu s VD Nové Heřminovy a červené polygony ohraničují rozliv vody při návrhovém stavu. V tomto pořadí si lze všimnout zmenšujícího se rozlivu. Vnější hranice rozlivu na levém břehu je u všech třech stavů téměř shodná. Až po ř. km 75,0 nejsou na tomto břehu navržena opatření, která by ovlivnila rozliv vody.

Rozliv vody při SS bez PPO a průtoku vody $Q_{100} = 221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zaplavuje téměř celou plochu údolní nivy, protože mu nebrání žádné překážky. Stoletým průtokem jsou zasaženy jak rodinné domy, tak lesní školka kontejnerovaných sazenic BAROZA, s. r. o. (Obr. 7.28), zemědělský areál ZÁTOR – AGROZAT, s. r. o. a pozemky stavební firmy RAKORD, s. r. o. Významný podíl na zaplavení intravilánu obce Brantice a Kostelec má místní komunikace, po které voda proudí skrz obec a vlivem sklonu vozovky stéká k přidruženým pozemkům. Při tomto stavu je také vodou nejvíce zasažena část obce Kostelec, kde jsou v dnešní době postaveny ochranné hráze na pravém břehu, které však při posuzovaném průtoku neplní ochrannou funkci. Velké množství vody vybřežuje také do levého inundačního území v blízkosti balvanitého skluzu ř. km 74,0.

Snížením hodnoty stoletého průtoku při SS_VDNH je rozliv vody z koryta Opavy menší než v předchozím stavu. V zaplavené ploše se objevuje více terénních vyvýšenin. K částečnému rozlivu vody dochází v levotočivém oblouku koryta nad mostem v Branticích, kde se voda vlévá na místní komunikaci. Korytem pak protéká průtok, který nepřesahuje vlastní kapacitu. K zaplavení podniku BAROZA, s. r. o. tak nedochází. Rozliv vody nastává až v ř. km cca 77,48. V ploše pastvin a luk extravilánu Brantic je zaplavena menší plocha. Voda protékající po místní komunikaci obcí Brantice způsobuje také podstatně menší rozlivy vody, vlivem nižšího průtoku. K výrazně postiženým oblastem se řadí zástavba v blízkosti křižovatky spojující silnici III/4589 se silnicí v obci a zástavbu v obci Kostelec. V úseku pravotočivého oblouku koryta Opavy je hranice rozlivu ve vzdálenosti cca 125 m od pravého břehu (Obr. 7.29). Stavební firma RAKORD, s. r. o. a okolní zahrady obyvatel Kostelce nejsou zaplaveny.



Obr. 7.28 Rozlivy vody pod mostem v Branticích



Obr. 7.29 Rozlivy vody v dolní části úseku

Rozliv při NS je o poznání menší. Hlavní roli zde hrají navrhované pravobřežní ochranné hráze a zídky, které zde tvoří hranici rozlivu po celém řešeném úseku. Voda tak zaplavuje pouze prostor mezi vlastním korytem a ochrannou hrází až po napojení hráze na stávající hráz přilehlou k vodnímu toku (ř. km 74,55). Levá hranice rozlivu je podél strmého břehu shodná s předchozími stavy. V místě, kde se voda vylévá do levého inundačního území v ř. km 75,6 je rozliv stejný jako u SS a SS_VDNH, poté se jeho šířka mírně zmenšuje v ploše před mostním profilem v ř. km 75,4. Za náspem komunikace jsou rozlivy stejné, ač se v předchozích stavech vytvořila suchá vyvýšená místa, která jsou nyní zaplavena. Rozdíl v hranicích rozlivů nastává odtěžením stávající příčné hráze u ř. km 75,0. V NS voda proudí odlehčovacím průlehem a její levostranný rozliv je totožný s předchozími rozlivy. Nově vytvořená levobřežní berma udává tvar rozlivu v její nátokové části, poté se voda vylévá i do okolní nivy a hranice tak kopíruje dvě předchozí. V prostoru nad napojením Jeleního potoka do koryta Opavy je hranice rozlivu tvořena navrženou příčnou ochrannou hrází a navazující hrází podél levého břehu Opavy, kam však voda vniká v místě jejího ukončení.

Porovnání dle Tab. 7.8 potvrzuje, že navrhovaná opatření jsou pro dané území z hlediska ochrany obyvatelstva přínosná. Zaplavená plocha se oproti SS zmenší více než o polovinu.

Tab. 7.8 Porovnání maximálních šířek rozlivů a velikostí zaplavených ploch

Stav	Max. šířka rozlivu [m]	Zaplavená plocha [km ²]	Počet ohrožených domů
SS	710	1,59	254
SS_VDNH	710	1,33	183
NS	452	0,71	8

7.8 Zhodnocení nejistot ve výsledcích

Nejistoty vstupují do výpočtů a poté do výsledků v každé dílčí fázi zpracování. Jedná se zejména o nejistoty:

- hydrologických dat;
- geodetických dat;
- tvorby DMT;
- schematizace řešeného území hydrodynamickým modelem;
- přesnosti hydrodynamického modelu;
- součinitele drsnosti povrchů;
- kalibračních dat;
- kulminačních průtoků historických povodní atd.

Použité vstupní podklady nebyly nejaktuálnější (2008), zejména co se týče hydrologických a geodetických dat. Tyto podklady však pro tvorbu DMT a sestavení numerického modelu proudění vody byly pro daný účel dostačující.

Způsob zpracování vychází z použití numerických modelů. Výsledky takto získané jsou obecně zatíženy jak již zmíněnými nejistotami vstupními, tak nejistotami, které souvisejí s přijatými předpoklady, zjednodušeními a s postupem řešení. Nejistoty ve stanovení hodnot posuzovaných veličin vyplývají z nahodilosti jevů, které při průchodu povodně nastávají. Použité řešení neuvažuje s dynamickými vlivy při proudění, předpokládá neměnný tvar koryta a inundačního území (bez zanášení a vymílání), volný průtok mostními objekty (bez zanesení plávím), neměnný součinitel drsnosti povrchu území (bez jeho porušení) apod. Skutečné hodnoty se mohou měnit v závislosti na konkrétních hydrologických podmínkách, aktuálním stavu koryta a inundačního území a použité manipulaci na objektech. Případné omezení průtočnosti objektů na toku, např. částečné či úplné ucpání mostních profilů nebo porušení hrází a dalších objektů může způsobit změnu oproti výše uvedeným výsledkům.

8 Závěr a zhodnocení

Cílem diplomové práce bylo porovnat proudění ovlivněné navrhovanými opatřeními v úseku Brantice-Kostelec na řece Opavě se stávajícím stavem. Na základě osobní pochůzky a dostupných podkladů je stav koryta z ekologického hlediska vyhodnocen jako velmi dobrý.

V diplomové práci byla zmíněna problematika povodní a s ní související návrh PPO. Vyjmenovány byly základní způsoby PPO, nástroje a postupy pro jejich návrh s uvedením výhod a nevýhod. Pro pochopení principu výpočtu proudění numerickým modelem byly uvedeny základní informace o matematickém modelování se soupisem obecných řídicích rovnic. Rovnice byly následně upraveny pro popis 2D proudění, které lze v dané oblasti považovat za dostatečně věrohodně vystihující skutečné proudění. Simulováno bylo ustálené proudění z důvodu možnosti porovnání proudění za stejných průtokových stavů po celé délce řešeného úseku. Využit byl program SMS 12.2 – FESWMS, který byl v práci stručně představen. Popsán byl stávající stav zájmového úseku a navrhovaná opatření, která byla navržena v rámci projektu OHO firmou AQUATIS, a. s. ve spolupráci s ATELIER FONTES, s.r.o.

K porovnání výsledků byly vytvořeny tři simulované stavy. SS popisující současný stav proudění bez výstavby VD Nové Heřminovy při stoletém průtoku $Q_{100} = 221 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dále SS_VDNH uvažující zachování zájmového úseku v přirozeném stavu bez úprav, ale s výstavbu VD Nové Heřminovy transformujícího stoletý průtok na návrhovou hodnotu $Q_{100,n} = 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a nakonec NS zohledňující PPO navrhovaná na návrhový průtok $Q_{100,n}$. Jednotlivá proudění jsou detailně popsána (kapitoly 7.1 až 7.3) a vzájemně porovnána (Tab. 7.1). Mezi výstupy patří mapy úrovní hladin, hloubek, svislicových rychlostí, rozlivů a rozdílové mapy.

Ač je úsek Opavy v současnosti v dobrém ekologickém stavu, pro přilehlou zástavbu obou obcí představuje rozliv (o ploše $1,59 \text{ km}^2$) při stoletém průtoku ohrožení. Dle výsledků numerického modelování rozliv vody sahá do zástavby Brantic, kde je zaplaveno 180 domů, mezi nimiž je mateřská škola, obecní úřad, obecní knihovna nebo podnikatelské objekty. V dolní části úseku, kde se nacházejí hráze nedostatečné výšky pro ochranu před stoletým průtokem, dochází k jejich přelití a zaplavení části Kostelce. Zde je zaplaveno 60 domů na pravém břehu a 8 domů na levém.

Druhým hodnoceným stavem byl SS_VDNH, při kterém byl v horní polovině úseku viditelně menší rozliv vody (o $0,26 \text{ km}^2$), ale i přesto by hodnota návrhového průtoku způsobovala škody jak na majetku, tak zemědělské výrobě. V Branticích by voda zaplavila 133 domů, v Kostelci 50. Snížením hodnoty stoletého průtoku dochází ke snížení úrovně hladiny průměrně o $0,3 \text{ m}$ a snížení rychlostí o $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na celém území. Naopak k vyšším rychlostem dochází v pravotočivém oblouku meandrujícího koryta v ř. km 75,0. Stávající pravobřežní ochranná hráz v části Kostelce není při tomto průtoku přelévána, a to způsobuje proudění vody vyššími rychlostmi do jímacího prostoru na levém břehu.

Oproti předchozím dvěma stavům, NS přináší řešení ochrany obyvatel Brantic a Kostelce. Navrhovaná opatření zahrnují výstavbu pravobřežní odsazené ochranné hráze v extravilánu Brantic, úpravu stávajících hrází a výstavbu ochranných zdí v Kostelci. Uvedené hráze a zídky jsou navrženy na návrhový průtok $Q_{100,n}$ a měly by zaručit přijatelnou ochranu obyvatel v zahrázích. Odlehčovací průleh nad jímacím prostorem na levém břehu Opavy převede průtok $35\text{--}40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vyústění z průlehu je v profilu nad lávkou pro pěší, pod níž je koryto dostatečně kapacitní. Revitalizační úpravy koryta a příbřežní zóny mají pozitivní vliv na proudění. Navržené bermy

podporují rozliv vody a zvětšují kapacitu koryta, pravobřežní rozšíření zpestřují proudění a zvětšují kapacitu. Paralelní ramena a bypass odlehčují hlavní koryto Opavy a podporují rozliv do pravobřežního území.

Všechna navrhovaná opatření vytvářejí o 0,88 km² menší rozliv oproti SS a o 0,62 km² oproti SS_VDNH. Vzhledem k dlouhé době trvání (přibližně 272 hodin) kulminačního průtoku při průchodu stoleté povodňové vlny daným úsekem lze očekávat malý vliv na změnu jeho hodnoty vyvolanou zmenšením plochy rozlivu. Při návrhovém průtoku Q_{100n} dochází celkově ke zvýšení úrovně hladiny a zvětšení hloubek v korytě a inundačním území, což do jisté míry kompenzuje zmenšení plochy rozlivu. Navržená PPO chrání oproti SS 247 domů. Na levobřežním území v části Kostelce dochází k zaplavení 7 domů o hloubce vody do 0,5 m. Ochranu domů lze zabezpečit např. prodloužením navrhované ochranné hráze. V místě jejího přerušení ocelovou lávkou by bylo nutné instalovat hrazení a zamezit tak vtoku vody do prostoru za hrází.

9 Seznamy

9.1 Seznam zdrojů

- [1] Aquaveo™. *SMS User Manual (v12.1)* [online]. Provo (Utah, United States), [cit. 17. 11. 2017]. Dostupné z http://smsdocs.aquaveo.com/SMS_User_Manual_v12.1.pdf, 2015.
- [2] ČEJP, J., P. GOLÍK. *Souhrnná zpráva, DUR, Opatření na horní Opavě – příprava akce v období 2008-2010: P.02.080 DUR Opatření v části Kostelec*. Pöyry Environment, a.s., Brno, 2010.
- [3] ČSN 75 2101 *Ekologizace úprav vodních toků*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [4] Dokumentace: Opatření na horní Opavě, P.12.07 DPS Opatření v úseku Brantice-Kostelec, Pöyry Environment, a.s., Brno, červenec 2012.
- [5] Dokumentace: Opatření na horní Opavě – příprava akce v období 2008-2010, Investiční záměr, N.02.07 SSO 07 - Opatření v úseku Kostelec-Brantice, Pöyry Environment, a.s., Brno, prosinec 2009.
- [6] FROEHLICH, D. *User's Manual for FESWMS Flo2DH. Two-dimensional Depth-averaged Flow and Sediment Transport Model. Release 3. FHWA-RD03-053*, 2002.
- [7] HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM: *VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T.G.MASARYKA, VEŘEJNÁ VÝZKUMNÁ INSTITUCE* [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/>
- [8] Hydrologické údaje povrchových vod pro vybrané profily řeky Opavy v úseku Vrbno pod Pradědem až Držkovice, ČHMÚ Ostrava, říjen 2008.
- [9] JANDORA, J. *Matematické modelování ve vodním hospodářství: Modul 01 - studijní opora*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2008.
- [10] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2017-11-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [11] Matematické modelování proudění vody s volnou hladinou. *OPERAČNÍ PROGRAM PRAHA ADAPTABILITA* [online]. Praha [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: http://www.bakalarsi.cz/data/KA2/OPPA_Matematicke_modelovani_Havlik.pdf
- [12] Povodí Odry: *státní podnik* [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/>
- [13] RAPLÍK, M., P. VÝBORA a K. MAREŠ. *Úprava tokov*. Bratislava: Alfa, 1989.
- [14] ŘÍHA, J. *Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 1997. ISBN 80-214-0827-8.
- [15] Seznam řek v Česku. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_rek_v_Cesku
- [16] Studie menší nádrže Nové Heřminovy v kombinaci s dalšími opatřeními v povodí horního toku řeky Opavy, Pöyry Environment, a.s., Brno, prosinec 2007.
- [17] TNV 75 2103 *Úpravy potoků*. Centrum technické normalizace Sweco Hydroprojekt, a.s., Praha, 2010.
- [18] TNV 75 2103 *Úpravy řek*. Centrum technické normalizace Sweco Hydroprojekt, a.s., Praha, 2014.

- [19] VESELÝ, J. a Z. ZACHOVAL. *Opatření na horní Opavě – příprava akce v období 2008-2010: Posouzení splaveninového režimu a prognóza*. Brno, 2009.
- [20] Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla. In: *Sbírka zákonů*. 2002.
- [21] XMS Wiki [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: http://www.xmswiki.com/wiki/Main_Page
- [22] Zákon č. 254/2001 Sb. *Zákon o vodách a o změně některých zákonů: (vodní zákon)*. In: *Sbírka zákonů*. 2001.

9.2 Seznam zkratk

1D, 2D, 3D	jednorozměrný, dvourozměrný, trojrozměrný
DMT	digitální model terénu
DN	jmenovitá světlost potrubí
DOP	dolní okrajová podmínka
DSP	dokumentace pro stavební povolení
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
FESWMS	Finite-Element Surface-water Modeling System
GIS	Geografický informační systém
HOP	horní okrajová podmínka
ID	identifikační číslo
MKP	metoda konečných prvků
MVE	malá vodní elektrárna
OHO	Opatření na horní Opavě
PP	počáteční podmínka
PPO	protipovodňové opatření
S-JTSK	systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SMS	Surface-water Modeling System
SS	stávající stav
SS_VDNH	stávající stav s vodním dílem nové Heřminovy
N-S	Navier-Stokes
NS	návrhový stav
NS_VDNH	návrhový stav s vodním dílem Nové Heřminovy
TIN	Triangulated Irregular Network
TPE	technicko-provozní evidence

VD	vodní dílo
VHP	vodohospodářský provoz
VVN	velmi vysoké napětí
WMS	Web Map Service

9.3 Seznam veličin

g	tíhové zrychlení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
C	Chézyho rychlostní součinitel	$[\text{m}^{0.5}\cdot\text{s}^{-1}]$
c_f	bezrozměrný koeficient tření na dně	
F	vektor síly	$[\text{N}]$
f	Coriolisův parametr	$[\text{s}^{-1}]$
f	vektor objemového zatížení	$[\text{N}\cdot\text{m}^{-3}]$
h	hloubka	$[\text{m}]$
i_b	sklon dna	
J	determinant Jacobiovy transformační matice	$[\text{m}^2]$
m	hmotnost	$[\text{kg}]$
n	součinitel drsnosti podle Manninga	
p_a	atmosférický tlak	$[\text{Pa}]$
p	tlak	$[\text{Pa}]$
Q	průtok	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
Q_a	průměrný průtok	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
Q_m	m-denní průtok	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
Q_n	návrhový průtok	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
Q_N	N-letý průtok	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
q	specifický průtok	$[\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}]$
R	hydraulický poloměr	$[\text{m}]$
T	teplota	$[\text{K}]$
u	bodová rychlost	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
u_0	třecí rychlost u dna	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
V	objem	$[\text{m}^3]$
v	rychlost	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
X	souřadnice	$[\text{m}]$

Y	souřadnice	[m]
Z	souřadnice	[m]
Z_b	úroveň dna	[m n. m.]
Z_h	úroveň hladiny	[m n. m.]
$\dot{\varepsilon}_v$	rychlost objemového přetvoření	[s ⁻¹]
α	koeficient	
δ_{ij}	Kroneckerovo delta	
λ	součinitel rychlosti objemového přetvoření	[Pa·s]
μ	dynamická viskozita	[Pa·s]
μ_t	turbulentní viskozita	[Pa·s]
μ_{t0}	konstantní člen turbulentní viskozity	[Pa·s]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]
σ_{ij}	tenzor napětí	[Pa]
Φ	zeměpisná šířka	[°]
Ω	úhlová rychlost otáčení země	[rad·s ⁻¹]
$\tau_{xx} \tau_{xy} \tau_{yx} \text{ a } \tau_{yy}$	tečné napětí způsobené turbulencí	[Pa]

9.4 Seznam obrázků

Obr. 3.1 Rozložení bodových rychlostí po hloubce vody	17
Obr. 3.2 Typy prvků FESWMS (A – šestiuzlový trojúhelníkový prvek, B – osmiuzlový čtyřúhelníkový prvek, C – devítiuzlový čtyřúhelníkový prvek) [6]	21
Obr. 3.3 Základní okno SMS-FESWMS.....	22
Obr. 3.4 Příklad GIS Data [21]	23
Obr. 3.5 Trojúhelníková síť ve Scatter Module	24
Obr. 3.6 Příklad polygonů v Map Module	25
Obr. 3.7 Editační okno vlastností polygonů	26
Obr. 3.8 Rozdělení sítě dle materiálů v Map Module	26
Obr. 3.9 Detail výpočtové sítě v Mesh Module.....	27
Obr. 3.10 Kontrola kvality prvků v Mesh Module.....	27
Obr. 3.11 Schéma podélného profilu modelu.....	28
Obr. 3.12 Závislost součinitele drsnosti n na hloubce vody h	29
Obr. 4.1 Mapa největších řek v ČR [15].....	31

Obr. 4.2 Územní působnost VHP Krnov [12]	32
Obr. 4.3 Zájmový úsek Brantice-Kostelec [10]	33
Obr. 4.4 Silniční most v Branticích, ř. km 77,89	34
Obr. 4.5 Pohled na řeku Opavu po proudu, ř. km cca 77,65	35
Obr. 4.6 Pohled na levý břeh, ř. km 77,169	35
Obr. 4.7 Pohled na pravobřežní louku a zástavbu obce Brantice	36
Obr. 4.8 Pohled na řeku Opavu proti proudu, ř. km 75,45	36
Obr. 4.9 Silniční most, ř. km 75,4	37
Obr. 4.10 Pohled na stávající ochrannou hráz na pravém břehu, ř. km 73,845	37
Obr. 4.11 Balvanitý skluz, ř. km 74,04	38
Obr. 4.12 Silniční most, ř. km 73,51	38
Obr. 5.1 Ukázka navrhovaných úprav toku z Investičního záměru [5]	40
Obr. 6.1 DMT stávajícího stavu	43
Obr. 6.2 Rozdělení náhradní oblasti dle typu sítě – stávající stav	44
Obr. 6.3 Rozdělení náhradní oblasti dle povrchů – stávající stav	45
Obr. 6.4 Porovnání rozlivů (SS a SS_{AQ7})	47
Obr. 6.5 Rozdělení náhradní oblasti dle typu sítě – návrhový stav	51
Obr. 6.6 Ukázka výpočetní sítě – úpravy v korytě	51
Obr. 6.7 Ukázka výpočetní sítě – levobřežní berma	52
Obr. 6.8 Rozdělení náhradní oblasti dle povrchů – návrhový stav	53
Obr. 7.1 SS , úroveň hladiny, horní část úseku	56
Obr. 7.2 SS , hloubky vody, horní část úseku	57
Obr. 7.3 SS , rychlostní pole, obtékání překážek v inundačním území	57
Obr. 7.4 SS , hloubky vody, pravý břeh koryta v místě mrtvého ramene	58
Obr. 7.5 SS , hloubky vody, úsek meandrujícího koryta Opavy	58
Obr. 7.6 SS , rychlostní pole, dolní část úseku	59
Obr. 7.7 SS_VDNH , úroveň hladiny, horní část úseku	60
Obr. 7.8 SS_VDNH , hloubky vody, násep komunikace	61
Obr. 7.9 SS_VDNH , rychlostní pole, inundační území	61
Obr. 7.10 SS_VDNH , hloubky vody, dolní část úseku	62
Obr. 7.11 NS , rychlostní pole, horní část úseku	63
Obr. 7.12 NS , hloubky vody, revitalizovaný úsek	64
Obr. 7.13 NS , hloubky vody a vektory rychlostí, bypass ř. km 75,51	65

Obr. 7.14 NS, hloubky vody, odlehčovací průleh.....	65
Obr. 7.15 NS, rychlostní pole, meandrující koryto Opavy	66
Obr. 7.16 SS_VDNH – SS, rozdíl hloubek, horní část úseku	67
Obr. 7.17 SS_VDNH – SS, rozdíl rychlostí, dolní část úseku.....	68
Obr. 7.18 SS_VDNH – SS, rozdíl hloubek, dolní část úseku	69
Obr. 7.19 NS – SS, rozdíl hloubek, úprava koryta	70
Obr. 7.20 NS – SS, rozdíl hloubek, úsek revitalizace.....	71
Obr. 7.21 NS – SS, rozdíl rychlostí, úsek revitalizace	71
Obr. 7.22 NS – SS, rozdíl úrovní hladin, odlehčovací průleh.....	72
Obr. 7.23 NS – SS, rozdíl rychlostí, odlehčovací průleh	72
Obr. 7.24 NS – SS_VDNH, rozdíl rychlostí, revitalizovaný úsek.....	74
Obr. 7.25 NS – SS_VDNH, rozdíl rychlostí, bypass a násep komunikace.....	74
Obr. 7.26 NS – SS_VDNH, rozdíl hloubek, dolní část úseku.....	75
Obr. 7.27 NS – SS_VDNH, rozdíl rychlostí, průleh a meandrující koryto.....	75
Obr. 7.28 Rozlivy vody pod mostem v Branticích	76
Obr. 7.29 Rozlivy vody v dolní části úseku.....	77

9.5 Seznam tabulek

Tab. 4.1 m-denní průtoky [8]	39
Tab. 4.2 N-leté průtoky [8].....	39
Tab. 5.1 Hodnoty návrhových průtoků [4].....	40
Tab. 6.1 Údaje o velikosti výpočetních sítí.....	44
Tab. 6.2 Hodnoty součinitelů drsnosti pro stávající stav [5].....	44
Tab. 6.3 Počáteční a okrajové podmínky stávajícího stavu	46
Tab. 6.4 Údaje o velikosti výpočetní sítě návrhového stavu	50
Tab. 6.5 Doplnující hodnoty součinitele drsnosti pro návrhový stav	52
Tab. 6.6 Počáteční a okrajové podmínky návrhového stavu	53
Tab. 7.1 Přehled porovnávaných stavů řešení.....	55
Tab. 7.2 SS, informace o přílohách	56
Tab. 7.3 SS_VDNH, informace o přílohách.....	60
Tab. 7.4 NS, informace o přílohách.....	63
Tab. 7.5 Porovnání SS_VDNH – SS, informace o přílohách.....	67
Tab. 7.6 Porovnání NS – SS, informace o přílohách	70

Tab. 7.7 Porovnání NS – SS_VDNH, informace o přílohách	73
Tab. 7.8 Porovnání maximálních šířek rozlivů a velikostí zaplavených ploch	77

9.6 Seznam příloh

1. Stávající stav (1 : 10 000)
 - 1.1. Mapa úrovní hladin pro Q_{100}
 - 1.2. Mapa hloubek vody pro Q_{100}
 - 1.3. Mapa svislicových rychlostí pro Q_{100}
2. Stávající stav s VD Nové Heřminovy (1 : 10 000)
 - 2.1. Mapa úrovní hladin pro $Q_{100,n}$
 - 2.2. Mapa hloubek vody pro $Q_{100,n}$
 - 2.3. Mapa svislicových rychlostí pro $Q_{100,n}$
3. Návrhový stav opatření (1 : 10 000)
 - 3.1. Mapa úrovní hladin pro $Q_{100,n}$
 - 3.2. Mapa hloubek vody pro $Q_{100,n}$
 - 3.3. Mapa svislicových rychlostí pro $Q_{100,n}$
4. Porovnání s kalibračními daty (1 : 10 000)
 - 4.1. Mapa rozlivů (SS a SS_{AQT})
5. Porovnání SS_VDNH – SS (1 : 10 000)
 - 5.1. Mapa rozdílů úrovní hladin
 - 5.2. Mapa rozdílů hloubek vody
 - 5.3. Mapa rozdílů svislicových rychlostí
6. Porovnání NS – SS (1 : 10 000)
 - 6.1. Mapa rozdílů úrovní hladin
 - 6.2. Mapa rozdílů hloubek vody
 - 6.3. Mapa rozdílů svislicových rychlostí
7. Porovnání NS – SS_VDNH (1 : 10 000)
 - 7.1. Mapa rozdílů úrovní hladin
 - 7.2. Mapa rozdílů hloubek vody
 - 7.3. Mapa rozdílů svislicových rychlostí
8. Porovnání rozlivů (1 : 10 000)
 - 8.1. Mapa rozlivů